# الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان

## الجزء الثاني

## الموجات الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان

تأليف


دكتور

محمد عبدالقادر محرم

أستاذ الأطياف

دكتورة

سميرة محمد ربيع

أستاذ الأطياف

الكتـــــــاب : الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان

( الجزء الثاني)

الموجات الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان

المؤلـــــــف : د. محمد عبد القادر محرم – د. سميرة محمد ربيع

رقـــم الطبعـــة : الأولى

تـاريخ الإصـدار : ١٤٢٦هـ - ٢٠٠٥م

حقـــوق الطبـــع : محفوظة للمؤلف

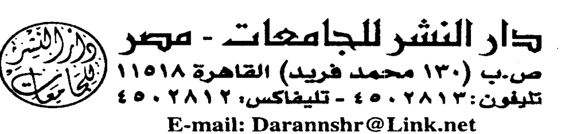
الناشـــــــــر : دار النشر للجامعات

رقـــم الإيـــداع : ١٨٥٤٦/ ٢٠٠٤

الترقـيم الـدولي : ISBN: 977-316-144-7

الكـــــــود : ٢/٣٣٦



# الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان

## الجزء الثاني

## الموجات الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان

بسم الله الرحمن الرحيم

# مقدمة

سوف نركز فى الجزء الثاني من كتاب "الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان" – كما أشرنا إلى ذلك فى الجزء الأول – على تقديم معلومات علمية أساسية عن الموجات الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان. الهدف الرئيسي من ذلك هو تعريف القارئ العربي بالمناطق المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي وطاقات وترددات { أو الأطوال الموجية } كل منطقة، وأيضا التفاعل المتبادل بين طاقات كل منطقة والأجهزة المختلفة فى جسم الإنسان. بالرغم من أن الشمس تعتبر المصدر الطبيعي الرئيسي للموجات الكهرومغناطيسية إلا أن هناك العديد من المصادر الصناعية التي تبعث موجات كهرومغناطيسية من خلال الكثير من الأجهزة المتنوعة التي أصبحت تستخدم فى الوقت الراهن على نطاق واسع فى حياتنا اليومية داخل وخارج البيت. وقد أدى الانتشار الواسع لهذه الأجهزة والإفراط فى استخدامها إلى اهتمام الهيئات العلمية العالمية فى معظم دول العالم المتقدمة بدراسة الأضرار الصحية التي قد تنجم عن الإفراط فى استخدام هذه الأجهزة والتعرض الزائد للإشعاع المنبعث منها.

وقد راعينا أن يتضمن الكتاب بعض نتائج الدراسات والتقارير التي توصلت إليها هذه الهيئات مع ذكر مستويات الطاقة الآمنة المصرح بها دوليا وأيضا الإرشادات اللازمة للوقاية من أضرارها. ويركز الكتاب على تنبيه القارئ إلى المخاطر الصحية التي قد تنجم عن التعرض للأشعة المؤينة مثل أشعة جاما والأشعة السينية التي تستخدم فى عيادات الأطباء للتشخيص والعلاج وأيضا عن التعرض الزائد للأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء. فى منطقة الموجات الميكرونية (الميكروويف) وموجات الراديو أجبنا على العديد من الأسئلة التي تدور فى أذهان الناس عن المخاطر التي قد يتعرضون لها من جراء استخدامهم للتليفون المحمول وهوائي هذا التليفون وأفران الميكروويف والرادار وخطوط القوى الكهربائية. ولم يفُتنا إعطاء فكرة واضحة عن فيزياء الليزر والهولوجرافى

وأيضا الاستخدامات الطبية لهذه الأجهزة.

لقد بذلنا كل جهدنا فى اختيار الكلمات العربية البسيطة السهلة الواضحة المعنى للتعبير عن المصطلحات والمفاهيم العلمية، ولكي يصل الكتاب إلى المستوى اللائق من الحداثة والعصرية راعينا أن يشتمل على العديد من الأفكار العلمية المبتكرة والمفاهيم الحديثة. لذا يحزونا الأمل فى أن يكون هذا الكتاب ذا فائدة للقارئ العربي.

يقع الكتاب فى سبعة أبواب ، يشمل **الباب الأول** التفاعل المتبادل بين الأشعة المؤينة جاما وإكس والأنظمة المختلفة فى جسم الإنسان وطرق استخدام هذه الأشعة المؤينة فى تشخيص وعلاج الأمراض وكيفية الوقاية من أضرارها. **الباب الثاني** يحتوى على التأثيرات البيولوجية لأشعة الشمس وخصوصا فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية وفوائد هذه الأشعة ومخاطر التعرض الزائد لها. **والباب الثالث** يلقى الضوء على فوائد وأضرار التعرض للضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء. يعطى **الباب الرابع** شرحا وافيا عن طبيعة وخواص الموجات الميكرونية وموجات الراديو وكذلك الأجهزة التي تستخدم موجات هذه المنطقة. الأبواب الثلاثة الأخيرة من **الخامس إلى السابع** ، تعطى فكرة واضحة عن فيزياء الليزر وتطبيقاته فى المجال الطبي.

**والله ولى التوفيق**

**المؤلفان**

# المحتويات

| الموضوع | الصفحة |
| --- | --- |



## الباب الثالث

## الضوء المرئي-- الأشعة تحت الحمراء وأشعة التيراهرتز

| الموضوع | الصفحة |
|---|---|



## الباب الرابع

## الموجات الميكرونية وترددات الراديو

الموضوع الصفحة



## الباب الخامس

## فيزياء الليزر

| الموضوع | الصفحة |
| --- | --- |



## الباب السادس

## التطبيقات الطبية لليزر

| الموضوع | الصفحة |
| --- | --- |



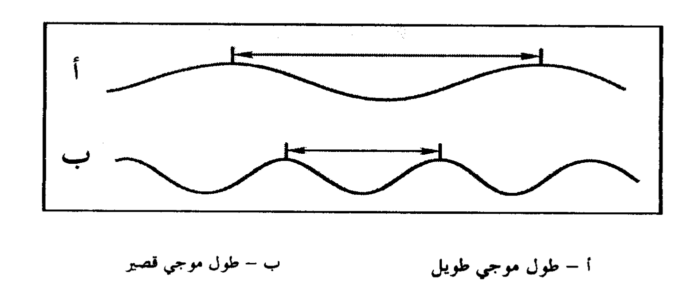
## الباب السابع

## الهولوجرافى (التصوير المجسم)

# الإشعاع الكهرومغناطيسى المؤين
# Ionizing Electromagnetic Radiation

## 1.1الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic waves

المذياع، التلفاز وفرن الميكروويف،كـــل هـــذه الأجهـــزة تـــستخدم الموجـــات الكهرومغناطيسية. موجات الراديو والميكروويـــف، الـــضوء المرئـــي وأشـــعة X هـــي أمثلة من الموجات الكهرومغناطيسية وتختلف عن بعـــضها الـــبعض فى أطوالهـــا الموجيـــة كما هو مبين فى شكل (1).




أ – طول موجي طويل ب – طول موجي قصير

شكل رقم (1) يبين موجتين مختلفق الطول الموجى

تنـــتج الموجـــات الكهرومغناطيـــسية مـــن حركـــة الـــشحنات الكهربائيـــة أو

الجسيمات المشحونة كهربائيا. يطلق على هذه الموجات أيضا الأشعة بسبب انبعاثها من الجسيمات المشحونة كهربائيا، وتنتشر هذه الموجات خلال الفراغ وخلال الهواء والمواد الأخرى.

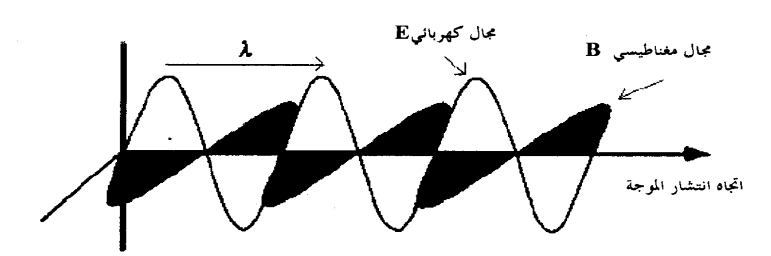
لكي نفهم الضوء، أو الموجات الكهرومغناطيسية لابد أن يكون لدينا فكرة واضحة عن المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية.

يصاحب أي جسم مشحون مجال كهربائي يؤثر على أي شحنة تتواجد فى جواره. وتعرف شدة المجال الكهربائي عند نقطة ما بالقوة المؤثرة على وحدة الشحنة الموجبة الموضوعة عند هذه النقطة. وحدة شدة المجال هي نيوتن / كولوم وهى نفس الشيء مثل الفولط / متر. وهى كمية متجهة محددة بمقدار واتجاه.

تنشأ المجالات المغناطيسية نتيجة حركة الشحنات أو التيارات. وهذا ينطبق على المجالات سواء كانت من المغناطيسات ، من خطوط القوى المغناطيسية أو من الأرض. تماما مثل المجال الكهربائي الذي يعرف بالقوة / وحدة الشحنة، يعرف المجال المغناطيسي بمقدار واتجاه القوة المؤثرة على الشحنة المتحركة أو التيار.

يؤكد العلماء منذ بداية القرن التاسع عشر على أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية ترتبط ببعضها البعض، وتطبيقات هذه الصلة موجودة حولنا. ينشأ عن حركة الشحنة الكهربائية (التيار الكهربائي) مجال مغناطيسي. تستخدم ملفات السلك فى صنع المغناطيسات الكهربائية الضخمة و المغناطيسات الكهربائية الصغيرة المستخدمة فى مستقبل التليفون. المحركات الكهربائية المستخدمة فى تشغيل السيارات أو فى لف القرص الصلب **Hard disc** فى الحاسب، ما هي إلا تطبيقات أخرى لهذه الظاهرة. فى الحقيقة، المغناطيسات الاعتيادية تنتج من التيارات الضئيلة على المستوى الذرى. ينشأ عن المجال المغناطيسي المتغير تيار كهربائي – مجال كهربائي. يستخدم هذا المفهوم فى مولدات الطاقة – ملفات ضخمة من السلك تدور فى مجال مغناطيسي عن طريق سقوط الماء أو بالرياح أو ببخار الماء المسخن بحرق الفحم أو الزيوت أو من حرارة التفاعلات النووية.

الأشعة الكهرومغناطيسية ذات خاصية مزدوجة، الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية. وقد فسر ماكسويل (1831-1879) **James Clark Maxwell** طبيعة الأشعة الكهرومغناطيسية على أساس نظرية الديناميكا الكهرومغناطيسية، لذلك أطلق عليها الأشعة الكهرومغناطيسية. هذه الأشعة، طبقا لنظرية ماكسويل، عبارة عن مجال كهربائي وآخر مغناطيسي يتعامد كل منهما على الآخر وعلى اتجاه انتشار الأشعة. تنتشر الأشعة على هيئة موجة جيبية ويرمز لمتجهي المجالين المغناطيسي والكهربائي بالحرفين E & B على التوالي، كما في شكل (2)




شكل (2) يبين انتشار الموجات الكهرومغناطيسية.

سرعة انتشار الأشعة في الفراغ لكل المناطق المذكورة ثابتة وتعرف بسرعة الضوء ويرمز لها بالرمز C وتساوى :

$$C = 2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وتعرف سرعة الضوء بأنها حاصل ضرب طول الموجة λ (وهى المسافة بين قمتين متتاليتين) والتردد υ (عدد الدورات في الثانية).

$$C = \lambda \upsilon \quad (1.1)$$

في القرن التاسع عشر أثبتت الدراسات التي قام بها أينشتين وبلانك وبوهر

أنه في كثير من الحالات يمكن اعتبار الأشعة الكهرومغناطيسية سيلا من الجسيمات أو الكمات **Quanta**(الفوتونات) وتحسب طاقتها **E** من معادلة بوهر التالية:

$$E = h\upsilon = hC/\lambda \text{ Joule} \qquad (2.1)$$

حيث **h** ثابت بلانك = $6.626 \times 10^{-34}$ جول ثانية

يلاحظ من هذه العلاقة أنه كلما زاد التردد أو قل الطول الموجي زادت الطاقة التي يعبر عنها بالجول.

$$E\ (\text{Kcal/mol}) = 28.6/\ \lambda(\mu) = 28.6 \times 1000\ /\ \lambda\ (\text{nm})$$
$$E\ (\text{KJ/mol}) = 119.7/\ \lambda(\mu) = 119.7 \times 1000\ /\ \lambda\ (\text{nm})$$

## الخواص المشتركة للموجات الكهرومغناطيسية

1- تنتشر فى حيز الفراغ. تحتاج بعض الأنواع الأخرى من الموجات إلى وسط مادي تتحرك خلاله، فمثلا موجات الماء تحتاج إلى ماء سائل، موجات الصوت تحتاج إلى غاز أو سائل أو مادة صلبة لكي يسمع الصوت.

2- سرعة الضوء ثابتة فى الفضاء. كل أشكال الضوء تنتقل بنفس السرعة 2998,00 كيلومترا فى الثانية فى الفضاء ويرمز لها دائما بالحرف **C**.

3- ترتيبها من الطاقة الأعلى إلى الطاقة الأقل كما يلي: أشعة جاما - أشعة **X** - فوق البنفسجية - المرئية - تحت الحمراء - الموجات الميكرونية وموجات الراديو [الموجات الميكرونية هي موجات راديو عالية الطاقة] ، كما هو مبين في جدول (1)

4- يعرف الطول الموجي- تماما كما فى حالة موجات الماء - بأنه المسافة بين قمتين أو بين قاعين. الأطوال الموجية للضوء المرئي الذي تكتشفه العين يتراوح بين 4000 إلى 8000 أنجستروم [ واحد أنجستروم = $10^{-10}$مترا]، وأحيانا يقاس الطول الموجي للضوء المرئي بالنانومتر] واحد نانومتر = $10^{-9}$ مترا = 10 أنجستروم ].

جدول (1) يبين طاقات المناطق المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسى.

| المنطقة | التردد | الطول الموجي | الطاقة |
|---|---|---|---|
| أشعة جاما | أكثر من $10^{20}$ هرتز | أقل من $10^{-12}$متر | أكثر من I/mev |
| أشعة إكس | أعلى من $3x10^{16}$ هرتز | أقل من 10نانومتر | أكبر من 124 ev |
| الأشعة فوق البنفسجية | $3x10^{16}$-$7.5x10^{14}$ هرتز | 10-400نانومتر | 124-3.1 ev |
| الضوء المرئي | 4-$7.5x10^{14}$ هرتز | 750-400 نانومتر | 1.65-3.1 ev |
| تحت الحمراء | 0.003-$4x10^{14}$ هرتز | 1mm-750nm | 0.0012-1.65ev |
| الميكروويف | 30-1.6GHz | 10-187mm | $0.12x10^{-3}$-$0.66x10^{-5}$ev |
| موجات الراديو | | | |
| أ-. نطاق الراديوى FM&TV | 54-1600MHz | 5.55-0.187m | $0.22x10^{-6}$–$0.66x10^{-5}$ev |
| ب- الموجات القصيرة | 1.605- 54MHz | 5.55-187m | $0.22x10^{-6}$-$0.66x10^{-8}$ev |
| ج- نطاق الراديو AM | 500-1500KHz | 600-200m | 2-$6x10^{-9}$ev |

## 2.1 ما هو الإشعاع؟

تتكون كل المواد من الذرات، تتكون الذرات من أجـزاء مختلفـة. النـواة الـتي تحتوى على جسيمات أصغر وهـى البروتونـات والنيوترونـات، وغـلاف خـارجي يتكون من جسيمات أخـرى يطلـق عليهـا الإلكترونـات. وتحمـل النـواة شـحنة كهربائية موجبة، بينما تحمل الإلكترونات شحنات كهربائيـة سـالبة. ولكـي تـصبح نوى الذرات مستقرة فإنها تتخلص من الطاقة الزائدة. النـوى غـير المـستقرة يمكـن أن تبعث كمية من الطاقة أو يمكن أن تبعث جسيما. انبعـاث هـذه الطاقـة الذريـة أو الجسيم هو ما يطلق عليه الإشعاع.

هناك نوعان أساسيان من الإشعاع. أحد هذين النـوعين مـن الإشـعاع عبـارة عن جسيمات سريعة الحركة وتمتلك طاقـة وكتلـة وتعـرف بإشـعاع الجـسيمات، النوع الآخر من الإشعاع عبارة عن طاقة خالصة ليس لـديها كتلـة وتـشبه الموجـات

التذبذبية أو النبضية للطاقة الكهربائية أو المغناطيسية. الموجات الإشعاعية يطلق عليها الموجات الكهرومغناطيسية أو الإشعاع الكهرومغناطيسى.

## الإشعاع المؤين وغير المؤين

التأين هو عملية إزالة الإلكترونات من الذرة تاركا نوعين من الأيونات (الجسيمات) المشحونة كهربائيا. ومن أمثلة الإشعاع المؤين أشعة $\gamma$ و X بعض أشكال الإشعاع مثل: الضوء المرئي، الميكروويف، موجات الراديو لا تمتلك الطاقة الكافية لإزالة الإلكترونات من الذرات، ومن ثم يسمى هذا النوع من الإشعاع الإشعاع غير المؤين. وكلا النوعين من الأيونات - الإلكترونات السالبة أو النوى الموجبة تمتلك القدرة على إحداث تغيرات فى الأنسجة الحية.

## النشاط الإشعاعي Radioactivity

الإشعاع مصطلح عام يستخدم لوصف انبعاث أو انتقال الطاقة كموجات أو جسيمات خلال الهواء أو المواد الأخرى. والأنواع المعروفة من الإشعاع هي أشعة الشمس، الميكروويف المستخدمة فى أفران الطهي بالميكروويف، الرادار المستخدم فى رصد الأجسام وموجات الراديو فى التليفون المحمول.

كما سبق وذكرنا ينتج الإشعاع المؤين من تفتت قطعة من المادة متناهية الصغر يطلق عليها النواة. والنواة فى حد ذاتها جزء من مكونات جسم صغير يسمى الذرة. تتكون أي مادة من الذرات.

هناك عدة أشكال من الإشعاع المؤين يعتمد على النواة وشكل الاضمحلال.

- **جسيمات ألفا** ($\alpha$): قدرة اختراقها صغيرة جدا. المواد التي تبعث

أشعة ألفا($\alpha$) خارج الجسم ليست مؤذية حيث إنها لا تخترق الجلد. لكن عندما تدخل هذه المواد الجسم،عن طريق الاستنشاق أو البلع يمكن أن تكون مؤذية.

– **أشعة بيتا** ($\beta$): لها قدرة اختراق أكبر تصل إلى 1أو 2 سنتيمتر داخل الأنسجة. المواد خارج الجسم التي تبعث أشعة بيتا يمكن أن تكون مؤذية للأنسجة السطحية للجسم، عندما تدخل هذه المواد الجسم يمكنها أنّ تؤذى الأعضاء التي تتواجد بها.

– **أشعة جاما** ($\gamma$): هي شكل من أشكال طاقة الأشعة الكهرومغناطيسية تنتج من النشاط الإشعاعي أو من فناء الإلكترون – بوزيترون. قدرة أشعة جاما على الاختراق أكبر من قدرة أشعة ألفا أو أشعة بيتا، ولكن قدرتها على التأين أقل من قدرة تأين أي منهما. تختلف أشعة $\gamma$ عن أشعة X فى المصدر. تنتج أشعة $\gamma$ من الانتقالات النووية، بينما تنتج أشعة X من انتقالات الطاقة نتيجة تعجيل الإلكترونات. وأشعة $\gamma$ عبارة عن فوتونات ذات طاقات عالية بين 1Mev إلى 10Gev. تمتلك أشعة $\gamma$ أقل طول موجي وأعلى طاقة مقارنة بكل مناطق الطيف الكهرومغناطيسى. وتستطيع أشعة $\gamma$ النفاذ فى الخلايا الحية، الصفة التي تتميز بها فى الاستخدامات الطبية تتمثل فى قتل الخلايا السرطانية.

الطاقة العالية لأشعة $\gamma$ جعلتها مفيدة جدا فى تعقيم الأدوات الطبية بقتلها البكتريا. وتستخدم أيضا فى قتل البكتريا فى المواد الغذائية لكي تظل الأغذية طازجة لفترة أطول. وتتفاعل كل من أشعة $\gamma$ و X خلال العديد من الطرق أهمها:

### 1– التأثير الكهروضوئى

يصف هذا التأثير الحالة التي تتفاعل بها فوتونات $\gamma$ مع المادة ونقل كل طاقتها إلى إلكترون مدارى وإزالة هذا الإلكترون من الذرة. وتساوى طاقة حركة الإلكترون طاقة فوتون $\gamma$ الساقط على الذرة ناقص طاقة ربط الإلكترون. التأثير الكهروضوئى يعتقد أنه الآلية التي لها الغلبة لانتقالات طاقة فوتونات أشعة $\gamma$

وأشعة X. الطاقات أقل من 56Kev تكون أقل أهمية عن الطاقات الأعلى من ذلك.

### 2- تشتت كمبتون

هو التفاعل الذي فيه يفقد فوتون γ جزءا كافيا من طاقته لإلكترون مدارى مسببا انتزاعه مع انبعاث الجزء المتبقي من طاقة الفوتون الساقط كفوتون جاما جديد ذي طاقة أقل فى اتجاه يختلف عن اتجاه فوتون γ الأصلي الساقط. وتقل احتمالية تشتت كمبتون مع زيادة طاقة الفوتون. يعتقد أن تشتت كمبتون يمثل آلية الامتصاص الأساسية لأشعة γ فى مدى الطاقة الوسطى من 100Kev إلى 10Mev. لا يعتمد تشتت كمبتون على العدد الذرى للمادة الممتصة.

### 3- إنتاج الزوج

فى هذا التفاعل تتحول طاقة الفوتون الساقط إلى كتلة الزوج، إلكترون بوزيترون. البوزيترون هو إلكترون موجب الشحنة.

## 3.1 التأثيرات البيولوجية لأشعة جاما(γ)

بالرغم أن أشعة γ تسبب السرطان إلا أنها تستخدم فى علاج بعض أنواع السرطان وفى هذه الطريقة توجه عدة حزم مركزة من أشعة γ على مكان الإصابة لكي تقتل الخلايا السرطانية. توجه الحزم من زوايا مختلفة لتركيز الأشعة على مكان الإصابة لتقليل تلف الأنسجة المحيطة إلى أدنى حد ممكن. وتبدأ الإصابة الناتجة عن الأشعة بالتلف الجزيئي. الجسيمات المشحونة مثل α أو β تنقل طاقتها عن طريق تفاعلات التأين أو الإثارة. أشعة γ أو أشعة X (غير مشحونة وعديمة الكتلة) تتفاعل أولا مع الذرة فى الخلية. فى هذه العمليات تنتقل طاقة أشعة γ أو أشعة X إلى إلكترون فى الذرة والذي بعدئذ يسبب تأينات أو إثارات داخل المواد المحيطة بها.

ونظرا لأن معظم جسم الإنسان يتكون من الماء، فسوف تحدث غالبية هذه التفاعلات فى جزيئات الماء. والانقسام أو التحلل الإشعاعي للماء يأتي من انتقال الطاقة من ألفا أو بيتا أو الإلكترونات إلى جزيء الماء.

يؤدى تأين جزيئات الماء إلى حدوث تغيرات كيميائية تؤدى بدورها إلى إحداث تغيرات فى تركيب ووظيفة الخلية. ويمكن أن تظهر نتائج هذه التغيرات فى الإنسان فى شكل أمراض إكلينيكية كالمرض الإشعاعي أو إعتام عدسة العين أو الإصابة بالسرطان على المدى الطويل.

الإشعاعات المؤينة تؤدى إلى إتلاف الخلية من خلال عدة مراحل مختلفة ومعقدة نوجزها فيما يلى:

### المرحلة الفيزيائية

تتم خلال زمن قصير جدا حوالي $10^{-16}$ ثانية وفيها تنتقل الطاقة من نوع معين من الإشعاعات إلى جزيئات الماء بالخلية ويحدث تأين

$$H_2O \xrightarrow{\text{Radiation}} H_2O^+ + e^-$$

حيث $H_2O^+$ هو أيون الماء الموجب، $e^-$ هو الإلكترون السالب.

### المرحلة الفيزيوكيميائية

تتم هذه المرحلة خلال زمن قصير حوالي $10^{-6}$ ثانية بعد حدوث التأين ويحدث خلالها تفاعل الأيونات الموجبة والسالبة مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذا التفاعل عدة مركبات جديدة. فعلى سبيل المثال يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب مكونا أيون هيدروجين موجبا $H^+$ وهيدروكسيد $OH$.

$$H_2O^+ \rightarrow OH + H^+$$

أما الإلكترونات السالبة $e^-$ يمكن أن تتحد مع جزيء ماء متعادل مكونا

بذلك ماء سالب.

$e^- + H_2O \rightarrow H_2O^-$

ثم يتحلل هـــذا الأيـــون الأخـــير مكونـــا الهيـــدروجين وأيـــون الهيدروكـــسيد السالب أي

$H_2O^- \rightarrow H + OH^-$

وتـــؤدى هـــذه التفـــاعلات إلى تكـــوين كـــل مـــن $H^+$، $H$، $OH^-$، $H$، $OH$. وأيونات الهيدروجين $H^+$ والهيدروكسيد $OH^-$ موجـــودة دائمـــا فى المـــاء ولا تـــشترك عموما فى إحداث تفاعلات تالية. أما بالنـــسبة للنـــواتج الأخـــرى وهـــى الهيـــدروجين H، والهيدروكسيد OH فهي معروفة بنشاطها الكيميـــائي الـــشديد. كـــذلك يمكـــن أن يتكون ناتج آخر هو فوق أكسيد الهيدروجين الذي يعتـــبر عـــاملا مؤكـــسدا قويـــا وذلك طبقا للتفاعل التالي:

$OH + OH \rightarrow H_2O_2$

## المرحلة الكيميائية

تستغرق هذه المرحلة عدة ثوانى ويتم خلالها تفاعـــل نـــواتج المرحلـــة الـــسابقة وهى الهيدروجين H والهيدروكـــسيل OH وفـــوق أكـــسيد الهيـــدروجين $H_2O_2$ مـــع الجزيئات العضوية المختلفة فى الخلية. فمـــثلا يمكـــن أن تتفاعـــل هـــذه النـــواتج مـــع الجزيئات المعقدة التي تتكـــون منـــها الكروموســـومات فتتحـــد معهـــا أو تـــؤدى إلى تكسير تراكيب السلسلة الطويلة وإحداث بعض التغيرات فى الجينات.

## المرحلة البيولوجية

يتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق وعـــدة عـــشرات الـــسنوات. تبـــدأ فى هذه المرحلة ظهور آثار التغيرات الكيميائية الـــتي حـــدثت فى الخليـــة. وبعـــض هـــذه الآثار هي:

1- موت الخلية .

2- منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل انقسامها.

3- حدوث تغيرات مستديمة فى الخلية تنتقل وراثيا إلى الخلايا الوليدة.

الجزيئات الضخمة فى الأنظمة البيولوجية تكون - غالبا - حساسة للتغيرات التركيبية الناتجة عن الأشعة، وهذه تشمل التحلل Degradation والترابط التصالبى Cross Linking فى وبين الجزيئات. وجود الأكسجين أثناء التشعيع يعزز التأثيرات الكيميائية والبيولوجية بزيادة عدد الشق المؤذى Harmfull و/ أو استعاضة الجزيئات التالفة.

فى عام 1906م أشار عالمان فرنسيان Bergoric & Tribondeau إلى أن الأنواع المختلفة من الخلايا تختلف فى حساسيتها للإشعاع وقد ذكرا أن الخلايا تكون ذات حساسية عالية للإشعاع عندما:

1- يكون معدل الانقسام الفتيلى لها مرتفعا Mitotic Rate.

2- عندما يكون لديها مستقبل طويل للانقسام الفتيلى.

3- تكون ذات خلية أولية.

قدرة الخلية على تعويض التلف الناتج عن امتصاص كمية معينة من الإشعاع يمكن أن تكون متفاوتة جدا وتعتمد على عوامل كثيرة منها.

1 - القدرة على التعويض الخلوي.

2- التأثيرات المحفزة من عمليات الأيض الأخرى.

3- انتقال الطاقة الخطى (LET) لأشعة معينة.

4- معدل تصريف الجرعة.

التلف الناتج عن جرعات منخفضة من الإشعاع يمكن تعويضه عن طريق الخلايا. هذا يتحقق بتقسيم الجرعة إلى جزأين أو أكثر وملاحظة أن الموت الخلوي يكون أقل فى حالة الجرعة المفردة من نفس الكمية الكلية. بينت التجارب أن

الخلايا التي تستقبل الجرعات المجزأة تكون معدلات البقاء لها أطول، وتبدأ التعويض بعد التشعيع مباشرة.

الحساسية الإشعاعية لأي كائن حي تحت تأثير الإشعاع المؤين تكون هي أيضا متفاوتة جدا. الحساسية الإشعاعية للثدييات، من أعلى حساسية إلى أقل حساسية هي كالتالي:

| | |
|---|---|
| 1- النسيج الجنيني | **Embryonic Tissue** |
| 2- الأعضاء المصنعة للدم | **Hematopoietic organs** |
| 3- البشرة | **Epidermis** |
| 4- الغشاء المخاطي المعوي | **Intestinal mucous membrane** |
| 5- النسيج الضام | **Connective Tissue** |
| 6- النسيج العضلي | **Muscle tissue** |
| 7- الأنسجة العصبية | **Nervous tissue** |

## أنواع التأثيرات :

من المعروف أن المستويات العالية من التعرض يمكن أن تسبب تأثيرات بيولوجية للكائنات الحية التي تتعرض لهذه المستويات. وسواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر خارجي أم عن التلوث الداخلي للجسم بالمواد المشعة فإنها تؤدى إلى آثار بيولوجية فى جسم الكائن الحي يمكن أن تظهر فيما بعد فى شكل أعراض إكلينيكية. وتعتمد خطورة هذه الأعراض والفترة الزمنية لظهورها على كمية الإشعاعات الممتصة وعلى معدل امتصاصها. تنقسم الآثار البيولوجية للإشعاعات فى الكائنات الحية إلى ثلاث مجموعات:

### 1- تأثيرات ذاتية Somatic Effects

هى التأثيرات التي تظهر أعراضها على الشخص المتعرض للإشعاع، وهذه تنقسم إلى قسمين:

a- تأثيرات فورية Prompt Effects: وهى التي تظهر مباشرة بعد الجرعة العالية (أكبر من 1 SV للجسم الكامل).

b- تأثيرات متأخرة Delayed Effects: يمكن أن تظهر بعد سنوات من التعرض للإشعاع.

### 2- تأثيرات وراثية Genetic Effects

ينتقل التأثير إلى الأجيال القادمة (الذرية) نتيجة لتعرض الوالدين للإشعاع وإصابة الجهاز التناسلي.

### 3- تأثيرات تشويهية Teratogenetic Effects

الآثار التي يمكن أن تظهر فى الأطفال الذين قد تعرضوا لجرعة إشعاعية أثناء نمو الجنين وقبل الولادة.

يضاف إلى ذلك التأثيرات الاحتمالية وهذه تستلزم حد أدنى للجرعة الإشعاعية، وتحدث فقط بعد جرعات إشعاعية عالية نسبيا، من أمثلتها جميع الإصابات الإشعاعية الحادة للأنسجة أو لأعضاء الجسم وأجهزته بما فى ذلك تدمير نظام المناعة فى الجسم.

### أعراض الإشعاع على البالغين من تعرض الجسم الكامل:

الأعراض الحادة للإشعاع تحدث خلال ثلاثين يوما بعد جرعة عالية من الإشعاع يستقبلها الجسم الكامل. القيمة LD50(30) تستخدم للتعبير عن

الجرعة المميتة بنسبة 50% من الكائنات الحية المعرضة للإشعاع.

وتوجد أربعة أنواع من الأعراض المعروفة للإشعاع تنشأ عن كل مدى من جرعة الإشعاع الحادة.

1 - أعراض المرض الجزيئي: ينتج عن الجرعات من 1000GY أو أعلى ويكون الموت فوريا، مع إخماد الجزيئات الأساسية (DNA, RNA).

2- أعراض الجهاز العصبي المركزي: ينتج من الجرعات من 100GY إلى 1000GY ويحدث بعد يوم أو يومين من التعرض يصاحبه هبوط في التنفس، وغيبوبة متقطعة.

3- أعراض الجهاز المعدي معوي: وينتج من الجرعات من 9 GY إلى 100GY ويحدث الموت بعد 3 إلى 5 أيام من التعرض ويكون مصاحبا بتغيرات في شكل المجرى المعدي معوي.

4 - Hematopoietic Syndromes : ينتج من جرعات من 3GY إلى9GY. إذا حدث الموت يكون بعد10 إلى 15 يوما من التعرض للجرعات الإشعاعية وينتج عنه التغير في خلايا الدم.

جرعات الجسم الكامل الأعلى من 50GY تسبب أعراضا إشعاعية مرضية، وهذه تشمل:

- الصداع
- دوخة أو دوار
- الغثيان (الشعور بالميل للقيء)
- إسهال
- أرق
- نقص في خلايا الدم البيضاء والصفائح

التأثيرات الأخرى التي تسبب القلق والخوف لدى العاملين والحد الأدنى لها يوضحها الجدول التالي.

جدول( 2 ) يبين تأثير الجرعات غير المميتة للإشعاع

| حد العتبة | التأثير |
|---|---|
| 5GY فقد مؤقت<br>25GYفقد دائم | فقد الشعر (نتف الشعر) |
| 2GYللمبيض<br>0.5GY للخصية | عقم منخفض |
| 8GYحاد<br>15GYمجزأة | عقم دائم |
| 2GYحاد<br>14GYمجزأة على عدسة العين | مياه بيضاء<br>(عتامة العدسة) |

## تقدير مخاطر السرطان

كيفية تطور السرطان بالإشعاع ليست معروفة جيدا، لأننا لا نستطيع أن نجزم تماما إذا كان السبب فى تطور نوع معين من السرطان هو الإشعاع أم أي مصدر آخر غير الإشعاع. الصفة الوراثية، السن، النوع والتعرض للمصادر الأخرى المسببة للسرطان يمكن أن تكون كلها عوامل مساهمة. أحد الفروض هو أن الإشعاع يمكنه إتلاف كروموسومات الخلية التي يمكن أن تسبب نموا شاذا. وفرض آخر هو أن الإشعاع يخفض مقاومة الجسم الطبيعية للفيروسات الموجودة والتي يمكن أن تتضاعف وتتلف الخلايا. والثالث هو أن الإشعاع ينشط الفيروس فى الجسم مما يساعد بعدئذ على تنشيط النمو السرطاني.

ولقد قدرت جمعية السرطان الأمريكية أن حوالي 25% تقريبا من كل البالغين سوف يتطور عندهم سرطان فى وقت ما ناتج من كل الأسباب الممكنة والتي تشمل:

- التدخين

- ملوثات الأطعمة

- الكحوليات

- الأدوية

- ملوثات الهواء

- الخلفية الإشعاعية الطبيعية

وهكذا فإن مجموعة من 10000 عامل لا يتعرضون فى الأساس فى أماكن عملهم للإشعاع من المتوقع أن تتطور 250 حالة سرطان. إذا كانت هذه المجموعة بكاملها من العاملين تستقبل جرعة مهنية مقدارها 10000msv لكل فرد فيمكن توقع ثلاث حالات سرطان إضافية.

جدول( 3 ) يبين أقصى جرعة مسموحة للأشخاص الذين لا يعملون فى مجال الطاقة النووية.

| عضو/نسيج | مللي سيفر/ سنة |
|---|---|
| الجسم الكامل | 1 |
| عدسة العين | 15 |
| الجلد | 50 |
| اليد والقدم | 50 |

## 4.1 أشعة X

هي أشعة كهرومغناطيسية، الأطوال الموجية القصيرة منها تصل إلى حد تأين العديد من الجزيئات. وبعد فترة وجيزة من اكتشافها استخدمت هذه الأشعة فى التشخيص الطبي لتصوير العظام المكسورة. أشعة X أشعة كهرومغناطيسية عالية

التردد تنتج عندما تكبح الإلكترونــات فجــأة، ويطلــق علــى هــذه الإشــعاعات، الإشــعاعات المكبوحــة Brehmsstrahlung Radiation أو أشــعة الفرملة(كابحة) Braking Radiation. تنتج أشعة X أيضا عنــدما يحــدث انتقــال إلكتروني بين مستويات الطاقــة المنخفــضة فى العناصــر الثقيلــة. وتمتلــك أشــعة X الناتجة بهذه الطريقة طاقــات محــددة تمامــا مثــل الأطيــاف الخطيــة الأخــرى مــن الإلكترونات الذرية، ويطلق عليها أشعة X المميزة نظرا لأنها تمتلــك طاقــات تحــددها مستويات طاقة ذرية. بالنسبة لتفاعلها مع المواد فهي أشــعة مؤينــة وتــسبب تــأثيرات فسيولوجية، لا تلاحظ فى حالة الأشــعة غــير المؤينــة، مثــل طفــرات وســرطانات الأنسجة. تتميز هذه الأشعة بقدرة اختراق محــدودة ويــتم الحــصول علــى أشــعة X المستخدمة فى الفحوص الطبية بقذف أهــداف مــن التنجــستن بواســطة إلكترونــات عالية الطاقة لتوليد الأشعة التي تركز فى حزمــة وتوجــه إلى المكــان المــراد فحــصه. اكتشفها ويلهلم رونتجن Wilhelm Rontgenعام 1895م.

| التردد | أعلى من $3 \times 10^{16}$ هرتز |
|---|---|
| الطول الموجي | أقل من 10 نانومتر |
| الطاقة | أكبر من 124 إلكترون فولت |

## 5.1 استخدامات أشعة X فى الطب

تستخدم أشعة X فى مجالين مهمين فى الطب هما:

1- التشخيص الطبي Diagnosis

2- العلاج الإشعاعي Radiation Therapy

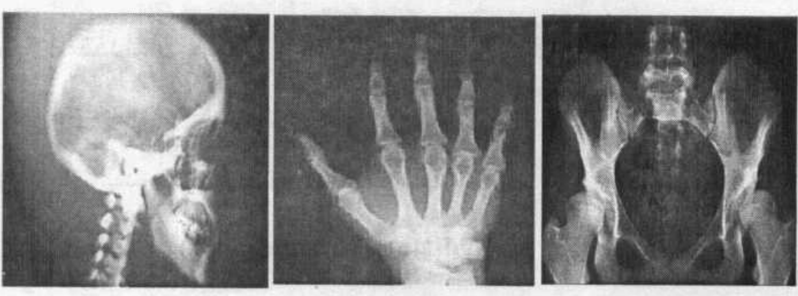
كل من المجالين، التشخيص والعلاج مفيــد جــدا للمــريض، لكــن كمــا هــو الحال فى حالة استخدام الأشكال الأخرى مــن الإشــعاع، يجــب أن تكــون الفائــدة التي تعود على المريض أعظم من المخاطر التي تنجم عن استخدامها.

## 1- التشخيص

يطلق على الصور الضوئية بأشعة X ، صور بالأشعة - ويستخدم هذا التصوير بكثافة فى الطب كأدوات للتشخيص. قيمة الصور بأشعة X فى التشخيص تنبع من خواص هذه الأشعة فى الاختراق. تشخيص كسور العظام المشتبه فيها هو أول احتمال يفكر فيه معظم الناس عند حدوث أي إصابة. ويعتبر ذلك عمل روتيني فى أقسام الحوادث والطوارئ بالمستشفيات ويتم الحصول على صورة بالأشعة السينية كما يلي:

يوضع فيلم فوتوجرافى خلف الساق - على سبيل المثال - ثم توجه أشعة X على الساق وتمر خلاله إلى الفيلم الفوتوجرافى. تمر أشعة X بسهولة خلال الأنسجة الرخوة، لكنها تمتص بدرجات متفاوتة بأي مادة كثيفة مثل العظام التي تقابلها. وهكذا فإن كميات أقل من أشعة X سوف تصدم الفيلم فى أجزاء من الصورة المناظرة للأجزاء الكثيفة من الساق، وسوف تقع هذه الأجزاء الكثيفة فى مساحات أقل عتامة عند تحميض الفيلم كما فى شكل (3). إذن تفيد صور أشعة X فى توضيح حالة العظام دون الحاجة للعمليات الجراحية.

تستخدم صور أشعة X للصدر فى تشخيص السرطان والسل... ويمكن تفسير صور الرئتين بسهولة لأن فراغات الهواء تنفذ أشعة X أكثر من



شكل (3) يبين صورة أشعة X لبعض أعضاء الجسم.

أنسجة الرئة. ويمكن ملء الفجوات المختلفة الأخرى بالجسم بأوساط متباينة سواء كانت أكثر شفافية أو أكثر عتامة لأشعة X عن النسيج المحيط بها لكي يصبح العضو المعين أكثر وضوحا فى الصورة. تستخدم كبريتات الباريوم التي تعتبر

شديدة العتامة بالنسبة لأشعة X لفحص المجرى المعدي المعــوي. مثــل هــذه الأصــباغ لها تأثيرات جانبية. كما يتم الحصول على صــور بأشــعة X لثــدي المــرأة للكــشف المبكر عن أي إشارة عن وجود سرطان بالثدي. ويــستخدم أطبــاء الأســنان أشــعة X لتحديد نوع ومكان الإصابات بالأسنان. ويــستخدم فى هــذا النــوع مــن التــصوير الإشعاعي أشعة X اللينة وأفلام فوتوجرافية عالية الحساسية.

الجدير بالذكر أن أشعة X تتفاعل مع الأنــسجة والعظــام مــن خــلال أربعــة عمليات أساسية هي:

1- التشتت المرن

2 - التأثير الكهروضوئى

3 - إنتاج زوج إلكترون - بوزيترون

4- تأثير كمبتون

2- العلاج بأشعة X

فى الطب الإشعاعي _ تستخدم أشعة X فى علاج أمــراض معينــة علــى وجــه الخصوص، السرطان وذلك بتعريض الــورم الخبيــث لأشــعة X. فى هــذه الطريقــة - العلاج بالأشعة - توجه أشعة X علــى الــورم لتحطيمــه. وتنــتج أشــعة X مــن المعجل الخطى الذي يولد طاقات تــصل حــتى 6Mev (مقارنــة بطاقــات 120Kev المستخدمة فى التشخيص). تدور آلة أشعة X فى قوس حــول المــريض وهــذا يؤكــد أن الورم يستقبل أقصى جرعة، لكن الأنــسجة الــسليمة المحيطــة بــه لا تــستقبل إلا القدر الضئيل.

## 6.1 المسح بالتصوير المحورى المقطعى بالحاسب *CAT Scan*

التطور الحديث فى تطبيقات أشعة X هو التصوير المقطعــي المحــوري بالحاســب

.Computerized Axial Tomography {CAT or CT}

وهذا يقدم طريقة للحصول علـى صـورة مقطعيـة للجسـم بـدون ظـلال للأعضاء الأخرى التي يتم تصويرها.

يستخدم فى هذه الطريقة مصدر لأشـعة X يتحـرك فى قـوس حـول المـريض منتجا انفجارات قصيرة من أشعة X.

يستخدم عدد كبير من كواشف أشعة X ترتب أيضا علـى هيئـة قـوس علـى الجانب الآخر للمريض المقابل للمصدر. تتكون الكواشف مـن بلـورات مـن أيوديـد الصوديوم لكشف أشعة X وعـدد مـن الفوتودايـودات لتسـجيل الـوميض مـن البلورات.

يستخدم الحاسب لجمع المعلومات مـن الفوتودايـودات وإعـادة بنـاء شـريحة الجسم على شاشة الحاسب فى عدد قليل من الثـواني. وهـذه الطريقـة جيـدة علـى وجه الخصوص فى حالة الأنسجة اللينة. بهذه الطريقـة، CAT يمكـن الكشـف عـن الأورام وجلطة الدم... إلخ والتي لا يمكن اكتشافها بجهاز أشعة X التقليدي.

مخترع ماسـح CATهـو جـودفرى هونسـفيلد Godfrey Houns Field والذي منح جائزة نوبل فى الطب عام 1979 م.

## ما هي مخاطر الإشعاع المصاحب للفحص الطبي بأشعة X ؟

فى الحقيقة هذه المخاطر تكون عـادة منخفضـة للغايـة وتعطـى فقـط زيـادة ضئيلة جدا فى احتمال حدوث سرطان بعـد العديـد مـن السـنين أو العقـود مـن التعرض للإشعاع. كل الجرعات الإشعاعية بمـا فى ذلـك الجرعـات المنخفضـة مـن أشعة X تمتلك القدرة على بدء سرطان. علـى أي حـال الإشـعاع لايسـبب كـل السرطانات، فى الحقيقة ثلثنا – لسوء الحظ – سوف يتطـور عنـده سـرطان خـلال حياتنا، والربع مع الأسف الشديد سوف يمـوت مـن تـأثيرات السـرطان. لا يمكـن التأكيد على أن تعرض شـخص مـا للإشـعاع يسـبب لـه – بالـدليل القـاطع –

السرطان. فمثلا يمكن أن يتعرض شخص ما لجرعات عالية من الإشعاع ولا يصاب أبدا بالسرطان فى حين أن شخصا آخر يتعرض لجرعات منخفضة من الإشعاع ومع ذلك يصاب بالسرطان، ... على أي حال، إذا تعرض عدد كبير من الناس للإشعاع فإننا سوف نتوقع أن عدد الذين سوف يصابون بالسرطان سيزداد عن عددهم فى حالة عدم تعرض نفس العدد للإشعاع.

نستخلص مما سبق أن الفحص الطبي بأشعة X يعمل على زيادة الخطر النسبي بكمية صغيرة جدا. على سبيل المثال، الاختبارات بالجرعات المنخفضة مثل تلك التي تتم على الأذرع أو السيقان أو الصدر والأسنان فى هذه الحالات تكون زيادة خطر السرطان فى حدود واحد فى المليون. وينظر إلى هذه الزيادة على أنها عديمة القيمة وحتى فى حالة الفحص بالجرعات العالية فى حالة التصوير بالصبغة أو فى حالة الأشعة المقطعية (CAT) لا يزيد الخطر عن واحد لكل عدة آلاف.

نظرا لأن السرطان يظهر بعد سنين كثيرة أو حتى العقود من التعرض للإشعاع فإن الخطر يقل أكثر فى الناس المسنين عند وقت التعرض. الناس الذين تزيد أعمارهم عن 60 عاما لن يكون لديهم وقتا كافيا من زمن بقائهم على قيد الحياة حتى تظهر عليهم الإصابة بالسرطان. على العكس الأطفال الذين يتعرضون لفحوصات بأشعة X يتضاعف الخطر مقارنة بكبار السن نظرا لطول فترة بقائهم على قيد الحياة.

يمكننا الآن مقارنة الجرعات الإشعاعية التي نحصل عليها من الفحوصات بأشعة X وتلك التي نتعرض لها من خلفية الإشعاع الطبيعي. تأتي هذه الخلفية الإشعاعية من النشاط الإشعاعي لبعض المواد فى الأرض ومن الأشعة الكونية.

جدول(4) يبين مقارنة الجرعات الإشعاعية من فحوصات أشعة X والجرعات من خلفية الإشعاع الطبيعي.

| طريقة التشخيص | الجرعة الاعتيادية الفعالة (mSv) | الفترة المكافئة للخلفية الإشعاعية الطبيعية | الخطر من السرطان لكل اختبار |
|---|---|---|---|
| فحوصات أشعة Xالأطراف والمفاصل ماعدا الأرداف | أقل من 0.01 | أقل من 1.5يوما | I فى كل بضعة ملايين |
| الأسنان | أقل من 0.01 | أقل من 1.5 يوما | I فى كل بضعة ملايين |
| الصدر | 0.02 | 3 أيام | I فى المليون |
| الجمجمة | 0.07 | 11يوما | 1ف 300000 |
| فقرات العنق (الرقبة) | 0.08 | أسبوعان | 1ف 200000 |
| الأرداف | 0.3 | 7 أسابيع | 1ف 67000 |
| السلسلة الفقرية الصدرية | 0.7 | 4 أشهر | 1ف30000 |
| تجويف الحوض | 0.7 | 4 أشهر | 1ف30000 |
| البطن | 0.7 | 4 أشهر | 1ف30000 |
| الفقرات القطنية | 1.3 | 7أشهر | 1ف15000 |
| بلع الباريوم | 1.5 | 8 أشهر | 1ف13000 |
| الكلى والطحال | 2.5 | 14شهرا | 1ف8000 |
| أكلة الباريوم | 3 | 16شهرا | 1ف6700 |
| أشعة مقطعية على الرأس | 2 | 1سنة | 1ف10000 |
| أشعة مقطعية على الصدر | 8 | 3.6 سنة | 1ف2500 |
| أشعة مقطعية على البطن وتجويف الحوض | 10 | 4.5 سنة | 1ف2000 |

## 7.1 المصدر الضوئي المتطور

## Advanced Light Source ALS

فى السنوات القليلة الماضية تمكن الباحثون فى معامل بريكلي Berkeley Lab بالولايات المتحدة الأمريكية من الحصول على نبضات فيمتوثانية لضوء السنكروترون مباشرة من حزمة إلكترونية فى حلقة تخزين السنكروترون. وسوف

تزود هذه التقنية المتطورة العلماء بكاميرا تصوير بأشعة X يمكنها أسر حركة الذرات خلال التفاعلات الفيزيائية والكيميائية فى زمن قصير قياسي غير مدرك.

المصدر الضوئي المتطور ALS عبارة عن سنكروترون إلكتروني تم تصميمه لتعجيل الإلكترونات إلى طاقات 1.9Gev (بليون إلكترون فولت) يمسكها لعدة ساعات فى حزمة مقيدة بإحكام داخل حلقة تخزين محيطها حوالي 200 متر (حوالي 660 قدمًا). عندما تدور الحزمة الإلكترونية خلال حلقة التخزين، فإن حزما من الضوء فوق البنفسجي أو من أشعة X اللينة يمكن أن تفرغ منها خلال استخدام مغناطيس منحنى. هذا الضوء الذي يمكن استخدامه فى العديد من التطبيقات العلمية المتنوعة تفوق درجة سطوعه درجة سطوع أشعة X من أنابيب التفريغ بمقدار حوالي مائة مليون مرة.

نظرا لأن الحزمة الإلكترونية فى حلقة تخزين ALS تتكون من رزم منفصلة من الإلكترونات أكثر من كونها تيارا مستمرا من الجسيمات، فإن كل الضوء الذى تولده يصدر على هيئة نبضات، بمعدل تكرار حوالي 500 مليون نبضة فى الثانية وتستغرق كل نبضة من 30 إلى40 بيكوثانية . ويستخدم العلماء تقنية ALS فى الأغراض التالية:

- الكشف عن خواص المواد.
- تحليل العينات للعناصر الشحيحة.
- دراسة الأصناف البيولوجية.
- تصنيع الآلات الميكروسكوبية.

يستخدم العلماء ALS فى عملهم، فعلى سبيل المثال استخدمها أحد الباحثين فى تعيين الكميات الضئيلة من الملوثات السامة فى التربة واستخدمها آخر فى فحص البلمر لمعرفة ترتيب الجزيئات.

وكما ذكرنا ALS تنتج ضوءا فى المنطقة فوق البنفسجية البعيدة وأشعةX

اللينة من الطيف الكهرومغناطيسي. يتراوح الطول الموجي لهذا الضوء من 0.0001 إلى 0.1 ميكرون .

توجد عدة أسباب تبرهن على أن ALS أداة فاعلة فى دراسة خواص المواد.

1- الضوء من ALS له القدرة على اختراق المواد. كما يستخدم طبيب الأسنان أشعة X ليرى ما فى داخل اللثة، يستخدم العلماء الضوء من ALS للنظر فى داخل المادة.

2- فى دراسة الذرات أو الجزيئات يجب استخدام موجات ضوئية فى حدود حجمها، من المستحيل رؤية أي شيء أصغر من الطول الموجي للضوء المستخدم. ALS يصدر ضوءا ذا طول موجي فى حدود أحجام الذرات والجزيئات والروابط الكيميائية والمسافات بين المستويات الذرية فى البلورات.

3- الفوتونات (أو جسيمات الضوء) من ALS تمتلك الطاقة المناسبة للتفاعل مع الكثير من إلكترونات الذرة.

4- وقد سبق وذكرنا أن سطوع أو شدة استضاءة أشعة X الصادرة من ALS أكبر بمائة مليون مرة عن سطوع أشعة X الناتجة عن أنابيب أشعة X المعروفة والتي يستخدمها أطباء الأسنان مثلا. وزيادة السطوع إلى هذا الحد يعني أن أشعة X من ALS عالية التركيز. يمكن تركيز الكثير من فوتونات أشعة X فى الثانية على مسافة ضئيلة من المادة.

5- بالإضافة إلى السطوع تتميز أشعة X من ALS بخصائص أخرى تشمل التوليف – الترابط القريب، الطبيعة النبضية والاستقطاب.

جدول (5) يوضح مقارنة بين خواص كل من أشعة X من ALS ومن أنبوب التفريغ.

| أشعة X المنتجة بأنبوب التفريغ | أشعة X من ALS |
|---|---|
| تخترق المواد | تخترق المواد |
| أطوالها الموجية أصغر من معظم الذرات والجزيئات | الطول الموجي في حدود حجم الذرات والجزيئات |
| تتفاعل مع إلكترونات الذرات الثقيلة مثل الذهب | تمتلك الطاقات المناسبة للتفاعل مع إلكترونات الذرات الخفيفة مثل الكربون والأكسجين |

## 8.1 الوقاية من الإشعاع

هناك ثلاثة عوامل لابد أن تؤخذ في الاعتبار للوقاية من الإشعاع:

### 1- الزمن

كمية التعرض الإشعاعي تزيد أو تنقص حسب طول أو قصر الفترة الزمنية التي يقضيها الفرد بالقرب من مصدر الإشعاع، على العموم، نحن نفكر في زمن التعرض على أساس طول الفترة الزمنية التي يقضيها الشخص بالقرب من مادة ذات نشاط إشعاعي... على أي حال من السهل علينا أن نفهم كيف نقلل زمن التعريض إلى الحد الأدنى بالنسبة للتعرض الخارجي (المباشر).. هذا ينطبق بالدرجة الأولى على إشعاع $\gamma$ ، وإشعاع X. لكن إذا وجدت مادة مشعة داخل الجسم فمن الصعب الابتعاد عنها، عليك أن تنتظر حتى تتحلل أو حتى يستطيع الجسم التخلص منها، عندما يتم ذلك، يتحكم نصف العمر البيولوجي للنيوكليدات المشعة في زمن التعرض. ونصف العمر البيولوجي هو مقدار الوقت الذي يأخذه الجسم للتخلص من نصف كمية النيوكليدات المشعة التي كانت موجودة أصلا منذ البداية. وهذا ينطبق على جسيمات ألفا وبيتا بالنسبة للتعرض الداخلي.

## 2- المسافة

من الطبيعي أنه كلما كان الناس بعيدين عن مصدر الإشعاع كلما كان تعرضهم للإشعاع ضئيلا. كيف، إذا كنت وأنت قريب من مصدر إشعاع، تستطيع تجنب الحصول على تعرض مرتفع؟ هذا يعتمد على طاقة الإشعاع وحجم (أو نشاط) المصدر. للمسافة أهمية أولية عندما تتعلق بأشعة γ لأن هذه الأشعة يمكن أن تنتقل إلى مسافة طويلة أما جسيمات α، β فليس لديها الطاقة الكافية للانتقال إلى مسافات بعيدة. كقاعدة إذا أنت ضاعفت المسافة فإنك تخفض التعرض بمقدار أربعة أمثال، أما إذا قللت المسافة إلى النصف فإن التعرض سيزداد بمقدار أربعة أمثال. لماذا إذن يتغير الإشعاع أكثر كثيرا عن التغير فى المسافة؟. تعتمد مساحة الدائرة $4\pi r^2$ على (نصف قطر الدائرة)، أي أنها تتناسب مع مربع نصف القطر. نتيجة لذلك إذا تضاعف نصف القطر فإن المساحة سوف تزداد بمقدار أربعة أمثال. إذا تعرض شخص موجود على بعد 4 أقدام من مصدر مشع فسوف يكون تعرضه ¼ تعرض شخص موجود على بعد 2 قدم من نفس المصدر المشع.

## 3- التدريع

ثمة حقيقة مهمة تتمثل فى أنه كلما كان التدريع حول مصدر الإشعاع قويا كلما كان التعرض صغيرا. والتدريع ببساطة يعنى وجود شىء ما بين الشخص والمصدر ليمتص الإشعاع الصادر من المصدر. كمية التدريع المطلوبة للوقاية من الأنواع المختلفة من الإشعاع تعتمد على كمية طاقة الإشعاع.

جسيمات α (ألفا)

قطعة رقيقة من مادة خفيفة مثل الورق أو حتى الخلايا الميتة فى الطبقة الخارجية من جلد الإنسان تعطى تدريعا مناسبا لأن جسيمات ألفا لا تستطيع اختراقها. على أي حال الأنسجة الحية داخل الجسم لاتعطى أي وقاية ضد

جسيمات $\alpha$ التي ابتلعها أو استنشقها الشخص.

جسيمات $\beta$ (بيتا)

الأغطية الإضافية، على سبيل المثال، الملابس الثقيلة تكون ضرورية للوقاية ضد باعثات جسيمات $\beta$. يمكن لبعض جسيمات $\beta$ أن تخترق الجلد.

إشعاع $\gamma$ (جاما)

التدريع السميك الكثيف مثل الرصاص ضروري للوقاية من إشعاع $\gamma$. وكلما كانت طاقة الإشعاع كبيرة كلما كان السمك المطلوب للوقاية من هذه الطاقة كبيرا. وينطبق هذا على أشعة X.

# الأشعة فوق البنفسجية
# Ultraviolet Radiation

## 1.2 خواص الأشعة فوق البنفسجية

أثبت إسحاق نيوتن فى نهاية القرن السابع عشر أنه يمكن تفريق الضوء بالمنشور(أو قطرات ماء المطر) إلى ما يشبه طيف قوس قزح **Rainbow** من الأحمر **700nm** حتى البنفسجي **400nm**. ضوء الشمس خليط من الضوء المرئي أو المنظور لنا والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء غير المرئية (غير المنظورة). تمثل الأشعة تحت الحمراء **60%** من ضوء الشمس والأشعة فوق البنفسجية **3%** والباقي الضوء المرئي يمثل **37%**.

سنة **1801** اكتشف جوهان ريتر **Johan Ritter** أن الأشعة فوق البنفسجية تختزل كلوريد الفضة إلى فضة. كان ريتر يعرف أن الضوء البنفسجي يمكن أن يختزل كلوريد الفضة إلى فضة، وقد بينت تجاربه أنه توجد أشعة غير مرئية بعد اللون البنفسجي تعمل نفس الشيء أي تختزل كلوريد الفضة وأطلق عليها الأشعة فوق البنفسجية.

لقد وجد فى هذا الوقت أن الحد الأدنى للطول الموجي لأشعة الشمس عند سطح الأرض هو **300** نانومتر، بالرغم من أنه فى الوقت الحاضر يمكن قياسه حتى **290** نانومتر. فى عام **1881** ذكر **Hartley** أن امتصاص الأوزون هو السبب فى تحديد هذا الحد الأدنى. وكانت الصعوبة التي واجهت الدارسين فى ذلك الوقت

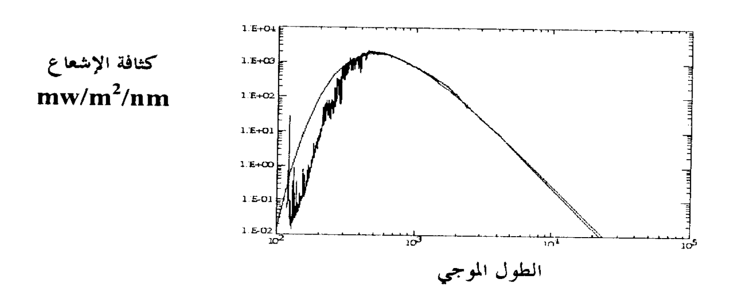
هي عدم معرفتهم شكل طيف الشمس خارج الغلاف الجوى للأرض (أي لم يكن لدى العلماء فى هذا الوقت أي معلومات عن شكل طيف الشمس خارج الغلاف الجوى للأرض). فى التجارب التي تمت فى عام **1920** لقياس الشدة الطيفية عند زوايا شمسية مختلفة، كان الاستنتاج المستخلص من هذه القياسات هو أن الحد الأدنى للطول الموجي عند سطح الأرض يرجع سببه إلى امتصاص أوزون الغلاف الجوى للأرض. فى الوقت الحاضر تستخدم الأقمار الاصطناعية أجهزة متطورة لقياس أشعة الشمس خارج الغلاف الجوى للأرض. القياس الأول فوق طبقة أوزون الغلاف الجوى كان سنة **1946** باستخدام صاروخ **V2** وقد بين هذا القياس تباينا واضحا بين الطيف الشمسي خارج الأرض والطيف المشاهد عند مستوى البحر، وهذا الفرق له أهمية بيولوجية كبيرة. ثلثا طاقة الشمس خارج الغلاف الجوى للأرض ينفذ إلى المستوى الأرضي وحوالي **5%** فقط من هذه الطاقة هي **UVR**.

عند سطح الأرض تغطى الأشعة فوق البنفسجية جزءا صغيرا من الطيف الكهرومغناطيسي من **380 nm – 286** . بينت الدراسة الطيفية (بالسبيكتروجراف) لضوء الشمس فى الغلاف الجوى الأعلى منا و التي تمت عن طريق الأقمار الاصطناعية وجود أطوال موجية من الأشعة فوق البنفسجية أقصر من تلك الأطوال الموجية لنفس الأشعة الموجودة على الأرض. وعندما نرسم شدة كل طول موجي من طيف الشمس فوق غلافنا الجوى على المحور الرأسي مقابل الطول الموجي على المحور الأفقي شكل ( **4** ) نجد أن أشعة الشمس تقارب الأشعة التي تصدر من جسم درجة حرارة سطحه حوالي **5600** $K^{O}$ درجة مطلقة (الصفر المطلق = $-273.16^{o}C$). إذا تمت نفس الدراسة الطيفية على سطح الأرض سيظهر بسرعة أن الأطوال الموجية القصيرة من الأشعة فوق البنفسجية غير موجودة. وهكذا يتضح أن الأطوال الموجية القصيرة من الأشعة فوق البنفسجية تمتص بواسطة أجزاء من الغلاف الجوى للأرض. الأطوال الموجية فى مناطق الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء تمتص أيضا بدرجات متفاوتة.

عند مناقشة التأثير البيولوجي للطيف الشمسي على سطح الأرض فإننا نقسم الطيف الشمسي إلى ثلاث مناطق.

**UVA**: تمتد من **315 - 380** نانومتر، بعد الجزء المرئي مباشرة وتسمى أحيانا **UV** الحيوية وكانت تعتبر فى السابق أنها مفيدة، لكن نحن نعرف الآن أن الجرعات الكبيرة منها ضارة.

**UVB: تمتد من 320 – 286** نانومتر، والطول الموجي **286** نانومتر هو أقصر طول موجى للشمس على سطح الأرض. من ناحية أخرى **UVB** تتلف الجلد وتسبب حروق الشمس.




شكل (4) يبين طيف الأشعة الشمسية التى تصل إلى قمة الغلاف الجوى للأرض من **100** إلى **100000** نانومتر وأشعة الجسم الأسود المنحنى الأملس عند **5700** درجة كلفن.

**UVC: تشمل الأطوال الموجية أقل من 286** نانومتر، وتتداخل مع منطقة أشعة **X** عند **40** نانومتر، **UVC** تقع على السطح العلوي للغلاف الجوى للأرض وتمتص بواسطة الأوزون ولا تصل إلى سطح الأرض.

تنفذ النوافذ الزجاجية **UVA** ولكن تمتص **UVB, UVC** أما الكوارتز

فينفذ الأنواع الثلاثة بما فيها UVC حتى 260 نانومتر. لهذا السبب يستخدم الكوارتز فى العدسات والمناشير لدراسة تأثير UVC, UVB. وتستخدم عدسات ومناشير أخرى لدراسة الأطوال الموجية أقل من 260 نانومتر.

## 2.2 الأشعة فوق البنفسجية والغلاف الجوى

ينقسم الغلاف الجوى رأسيا، على أساس خواصه الحرارية، إلى أربع طبقات: تروبوسفير، ستراتوسفير، ميزوسفير وثرموسفير.

يمتد التروبوسفير من سطح الأرض حتى (فى المتوسط) 12 كيلومترا (7ميل) إلى أعلى حيث يتراوح الضغط من 1000 إلى 200 مللي بار. تقل درجة الحرارة مع الارتفاع حتى التروبوبوز، وهى قمة التروبوسفير. وتبدأ طبقة ستراتوسفير فوق التروبوسفير مباشرة وتمتد حتى 50 كيلومترا إلى أعلى. مقارنة مع التروبوسفير هذا الجزء من الغلاف الجوى جاف وأقل كثافة. درجة حرارة هذه المنطقة تزداد تدريجيا إلى 3 درجات مئوية بسبب امتصاص الأشعة فوق البنفسجية. وتبدأ طبقة الميزوسفير فوق ستراتوسفير مباشرة وتمتد حتى 85 كيلومترا فوق سطح الأرض. فى هذه المنطقة تهبط درجة الحرارة مرة أخرى إلى 95°C - كلما زاد الارتفاع. وتبدأ منطقة الثرموسفير فوق منطقة الميزوسفير مباشرة وتمتد حتى 600 كيلومترا إلى أعلى. تزداد درجة الحرارة مع الارتفاع بسبب طاقة الشمس، ويمكن أن تصل إلى 1727°C.

يتكون هواء الغلاف الجوى غير الملوث عند سطح الأرض من 78.1% نتروجين ($N_2$)، 20.9% أكسجين($O_2$)، 033% ثاني أكسيد الكربون($CO_2$)، 0.9% أرجون Ar، ونسبة قليلة جدا من النيون (Ne)، الهليوم(He)، الكريبتون(Kr)، الزينون(Xe)، الهيدروجين($H_2$)، الميثان($CH_4$)وأكسيد النيتروز($N_2O$). أظهرت عينات الهواء المأخوذة بالبالون أو الصواريخ عند مستويات ترتفع تدريجيا من سطح الغلاف الجوى أن هذه الحصص النسبية

للغازات المتواجدة فى الهواء تظل كما هي، بينما يقل التركيز مع الارتفاع. إذا أخذنا عينات من الهواء على ارتفاعات من 15 – 35 كيلومترا من سطح الأرض، سنجد غازا آخر هو الأوزون **Ozone($O_3$)**. فى الارتفاعات الوسط يصل تركيز الأوزون إلى أقصاه عند حوالي 25 كيلومترا. ويقال عن تلك الطبقة من 15 – 35 كيلومترا طبقة الأوزون. عندما يقاس طيف ضوء الشمس عند طبقات مختلفة من الجو نكتشف أن الضوء المار من خلال طبقة الأوزون لايشمل كل أشعة **UVC** من أقصر طول موجي حتى 286 نانومتر – وهو أقصر طول موجي للأشعة فوق البنفسجية المكتشف على سطح الأرض.

أثبتت التجارب المعملية أن الأكسجين يمتص الطول الموجي القصير جدا لأشعة **UVC** وأقصى امتصاص يحدث عند 150 نانومتر. ويتناقص امتصاصه مع زيادة الطول الموجي. الأوزون من ناحية أخرى يمتص الجزء الباقي من أشعة **UVC** ويكون أقصى امتصاص عند 260 نانومتر. عندما يمتص الأكسجين الأشعة من نوع **UVC** فى الارتفاع العالي من الجو يتحول إلى أوزون.

كثير من الأكسجين الذرى الناتج يتحد مع الأكسجين الجزيئى ليكون الأوزون. الطاقة الضوئية **Light Quanta** فى هذه التفاعلات تتحرر كحرارة. وكما هو متوقع تكون طبقة الأوزون أسخن من الطبقة التالية لها مباشرة من أسفل ومن أعلى.

نظرا لأن أشعة **UVC** تصدم الطبقة الأعلى من الغلاف الجوى فإن مظلة الأوزون تجعل الحياة محتملة فى البر والبحر. بدون هذه الحماية كل شيء حي على الأرض سوف يتلف ويموت. الكمية الكلية للأوزون فى الغلاف الجوى صغيرة نسبيا.

من الواضح أن طبقة الأوزون فى الغلاف الجوى تعتمد على وجود الأكسجين الذي يتكون منه، وتوجد طبقة الأوزون فقط لأن غلافنا الجوى يحتوى على أكسجين.

تتغير شدة طيف الأشعة فوق البنفسجية على سطح الأرض تبعا للعوامل الجغرافية والتقلبات الجوية المؤقتة، فتقل الشدة الطيفية للأشعة فوق البنفسجية إلى النصف أو الثلث عندما يقل الطول الموجي من 400 إلى 320 نانومتر عند خطوط العرض الشمسية أعلى من 20 درجة، وبعدئذ تهبط بسرعة بمقدار ثلاث مرات أو أكثر عندما يقل الطول الموجي من 320 إلى 290 نانومتر حيث يكون الامتصاص بالأوزون مهما جدا.

1- فترات النهار: حوالي من 20% إلى 30% من أشعة UVRاليومية الكلية تستقبل خلال الفترة قبل وبعد منتصف النهار بساعة وقت الصيف، والباقي حوالي 75% يستقبل فى الفترة بين 9 صباحا و 3 بعد الظهر.

2- الفصول: فى مناطق الحرارة المعتدلة أشعة UVR المتلفة بيولوجيا الواصلة لسطح الأرض تعتمد بقوة على الفصول، وعلى أي حال، تغيير الفصول يكون أقل بالقرب من خط الاستواء.

3- خطوط العرض الجغرافية: يقل فيض UVR السنوي مع زيادة المسافة عن خط الاستواء. وعلى وجه التقريب العدد السنوي الأدنى لجرعة الاريثيما (الاحمرار الجلدي) MED على سطح أفقي غير مظلل عند منتصف خطوط العرض (20 – 60 درجة) يمكن تعيينه من المعادلة التالية:

**Annual Minimal Erythema Dose MED = $2x10^4$ exp(-latitude)/20**

4- السحب: تقلل السحب شدة الأشعة الشمسية عند سطح الأرض بالرغم من أن التغيرات فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية تكون أقل بكثير عن مقدار التغير فى الشدة الكلية، نظرا لأن الماء فى الضباب يضعف الأشعة تحت الحمراء الشمسية أكثر بكثير من UVR. مخاطر التعرض الزائد تحت هذه الظروف قد تزيد لأن الإحساس الدافئ للحرارة يقل. السحب الخفيفة المبعثرة فى السماء الزرقاء تحدث اختلافا طفيفا فى شدة الأشعة فوق البنفسجية، إذا لم تكن تغطي الشمس مباشرة، بينما غطاء السحب الكامل يقلل إشعاع UV إلى حوالي

نصف تلك القيمة فى حالة السماء الصافية . حتى مع غطاء السحب الثقيلة فإن مركبة الأشعة فوق البنفسجية المشتتة من ضوء الشمس (غالبا تسمى ضوء السماء) تكون نادرا أقل من 10% من تلك التي تحت السماء الصافية، على أي حال، سحب العواصف الثقيلة يمكن أن تمحو UVR الأرضية حتى وقت الصيف.

5- انعكاس السطح: انعكاس UVR من سطح الأرض بما فى ذلك البحر يكون عادة منخفضا ( 7%> )، على أي حال، رمل الجبس يعكس ≈ 25% من UVB الساقطة والصقيع يعكس حوالي 30%.

6- الارتفاع: على وجه العموم كل واحد كيلو متر زيادة فى الارتفاع يزيد فيض الأشعة فوق البنفسجية بحوالي 6%. على العكس الأماكن على سطح الأرض تحت مستوى البحر تكون نسبيا أفقر فى محتوى UVB عن الأماكن الأقرب عند مستوى البخر هذا يظهر بوضوح حول البحر الميت فى الأردن 400 كيلومتر تحت سطح البحر.

## 3.2 فوائد أشعة الشمس للإنسان

كان الاعتقاد السائد قديما هو أن الشمس تشفى أمراض الإنسان ومازال هذا الاعتقاد شائعا حتى الآن. كان أهل الريف فى بعض أجزاء شمال أوروبا يعرضون الأفراد المرضى وأيضا الحيوانات المرضى للشمس أملا فى الشفاء. يعتقد معظم هؤلاء أن الشمس مفيدة جدا للصحة، ويعرضون أنفسهم لها حينما يتاح لهم ذلك فى الأجازات – على شواطئ البحر أو تحت مصابيح الشمس. حمامات الشمس ليست عادة حديثة، فهي معروفة من قبل ألفى سنة منذ عهد الإغريق والرومان. بعض التقارير الحديثة تؤكد أن ضوء الشمس يساعد على الشفاء وأن بعض الخير يأتى من ضوء الشمس، ودعنا نذكر بعض أمثلة على الفوائد الصحية لأشعة الشمس وعلى وجه الخصوص الأشعة فوق البنفسجية.

الأشعة فوق البنفسجية تقتل البكتريا، لذلك تستخدم المستشفيات ضوء الشمس فى تعقيم الهواء وغرف العمليات وتستخدم فى المعامل لتعقيم غرف البحوث الزراعية. ونظرا لأن ضوء الشمس يخمد نشاط الفيروسات ويقتل البكتريا بما فى ذلك الأنواع المسببة للأمراض، فهي تساعد على تقليل انتشار المرض عندما نعرض جلدنا وملابسنا والأوعية (الأواني) لضوء الشمس. وتعمل الأشعة فوق البنفسجية على الأرض وفى الماء وعلى سطح الكائنات، ولأن البكتريا والفيروسات صغيرة فإن ضوء الشمس يصل إلى مادة التناسل الحيوية وقد تمضى فترة طويلة حتى تؤثر الشمس على خلايا الحيوانات والنباتات بسبب وجود سيتوبلازم أكثر بين سطح الخلية ومادة التناسل الكثيفة فى النواة المركزية. ويمكن إخماد نشاط البكتريا والفيروسات على سطح النباتات والحيوانات دون إتلاف الخلايا التحتية. بهذه الطريقة تكون الأشعة فوق البنفسجية مفيدة جدا للإنسان والحيوان والنبات.

## درن الجلد Skin Tuberculosis

انتشر داء الذئب المعروف (بدرن الجلد) **Lupus Vulgaris** فى شمال أوروبا حيث إن ضوء الشمس هناك ضعيف أو لا يظهر لفترات طويلة من أواخر الخريف حتى أوائل الربيع. وتظهر القرح أو التقرحات على الوجه والرقبة وتترك آثارا غير سارة فى هذه الأماكن حتى بعد العلاج.

أثبت نيلز فنسن **Niels Finsen** (1860 – 1904م) طبيب دانمركي مشهور ، أن ضوء الشمس المركز بعدسات الكوارتز التي تنفذ **UVB** على التقرحات يعطى علاجا مؤثرا. عمل فنسن مع مهندس قد أصيب هو نفسه بداء الذئب لكنه صمم قوس كربون يعمل كمصدر مستقر للأشعة فوق البنفسجية فى منطقة الطول الموجي المطلوب للعلاج. فى هذه الحالة يستخدم دورق من الكوارتز مملوء بالماء (لخفض الحرارة ولكنه ينفذ أشعة **UVB**) يوضع بين القوس والمريض

وتستخدم عدسة من الكوارتز لتركيـز الضـوء. بهـذه الطريقـة توصـل فينسـن إلى علاج مفيد. وقد أسس له النـاس المعترفـون بفضـله معهـدا باسمـه فى كوبنـهاجن لدراسة تأثيرات الضوء على الكائنـات الحيـة. اسـتمر فنسـن فى دراسـاته الطبيـة خصوصا على داء الذئب ووجد أن إضـاءة كـل الجسـم بأشـعة الشـمس يعجـل الشفاء ولكنه لم يستطع تفسير سـبب ذلـك. يعتقـد الآن أن أشـعة UVB تحـدث إلتهابا يحفز التفاعلات المناعية فى الأنسجة وينتج عن ذلـك تسـخين الآفـة. وفى عـام 1903م حصل فينسن على جائزة نوبل على هذا الاكتشاف.

فى الواقع داء الذئب قد اختفى ولكن أحيانا يظهـر فى الأجـزاء الشـمالية مـن شرق أوروبا. يعالج هذا الداء الآن بالمضادات الحيويـة مثـل تربتوميسـين. علـى أي حال حتى الآن مازال العـلاج بالأشـعة فـوق البنفسـجية مسـتمرا مـع العـلاج الكيميائي بالمضادات الحيوية فى الحالات التي لا تستجيب للعلاج الكيميائي فقط.

### العظام والدرن الرئوي Bone and Pulmonary Tuberculoses

منذ زمن ليس ببعيد كان الناس يعالجون العظـام ودرن الرئـة بـالتعرض لضـوء الشمس. المرضى كانوا يذهبون إلى المصحات فى الجبـال أو عنـد البحـر بعيـدا عـن المدن الكبرى، حيث يقضون ساعات طويلة فى الشـمس. كـان الاعتقـاد الشـائع أن التعرض للأشعة فوق البنفسجية من الشمس يساعد علـى العـلاج. علـى أي حـال، اتضح فى الوقت الحاضر أن هذه المصحات تسـاعد فى عـلاج المرضـى لأنهـم كـانوا يتنفسون الهواء النقي غـير الملـوث بالمهيجـات مـن عـوادم المصـانع والسـيارات ويتمتعون بالمناظر الجميلة والراحة النفسية. حتى الآن لا يوجـد تأكيـد علـى مـا إذا كانت الأشعة فـوق البنفسـجية تلعـب دورا فى عـلاج الـدرن الرئـوي أم لا. فى الوقت الحاضر يتم العلاج بالمواد الكيميائية.

قائمة الأمراض الجلدية التي كانت تعالج بالأشعة فوق البنفسجية طويلة. عولجت أمراض الجلد المختلفة بالأشعة فوق البنفسجية باستخدام أقواس الكربون والزئبق وبصريات الكوارتز. على أي حال ، لم يفهم أحد كيف يتم هذا الشفاء. حتى فى الحالات التي يكون فيها السبب فى المرض هو البكتريا، فلم يؤكد أحد أن هذه البكتريا قد قتلت بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية. الأمر الأكثر احتمالا كما فى حالة داء الذئب، فى هذه الأمراض الالتهابات أو توابعها حفزت الجلد على إتمام الشفاء. لكن فى الوقت الحاضر تستخدم المضادات الحيوية والكيماويات الدوائية لعلاج هذه الأمراض. ولكن فى بعض الحالات تستخدم الأشعة فوق البنفسجية مع العلاج الكيميائي والمضادات الحيوية. وإلى وقت قريب كانت تستخدم UVB لعلاج داء الصدفية، وحتى الآن لا يعلم أحد كيف أن هذه الأشعة تدعم فعل الأدوية. أحيانا، إلتهابات الغدد الدهنية وعدوى جرب الشعر والدمامل تعالج أيضا بالأشعة فوق البنفسجية.

## Vitamin D and Rickets فيتامين D والكساح (لين العظام)

ربما تكون فائدة أشعة UV الطبيعية ذات الأهمية الكبيرة للإنسان هي تخليق أو تصنيع فيتامين D، وهو مادة تلعب دورا مهما فى امتصاص الكالسيوم المعوي. فى حالة الغذاء الفقير بالفيتامينات، يكون الإنتاج الضوئي هو المصدر الرئيسي لفيتامين D فى الجلد. ولسوء الحظ يمكن أن تنتج سمية فيتامين D من الجرعات الزائدة والتي تؤدى إلى تلف الكلى وارتفاع مستوى الكوليسترول فى الدم.

التخليق البيولوجي لفيتامين D يتضمن عدة خطوات بيوكيميائية، والكساح أو لين العظام مرض يصيب – على وجه الخصوص – الرضع والأطفال وسببه خلل فى تكوين وصلابة العظام العادية، وفيه تنحني العظام الطويلة وتسبب تقوس وتقلص العضلات. تلوث الهواء من العوامل الأساسية فى حدوث الكساح،

لذا ينتشر هذا المرض بين الأطفال الذين يعيشون فى مدن شمال أوروبا الصناعية حيث ينتج عن احتراق الفحم اللين سحابة دخان سوداء. ولكن أيضا معظم الفقاريات التي توجد فى الأماكن التي يقل فيها ضوء الشمس تصاب بالكساح أو لين العظام.

توصل العلماء فى الوقت الراهن إلى أن سبب الكساح هو نقص أملاح الكالسيوم والفوسفات فى الغذاء إما بسبب نقص فيتامين D فى غذاء الإنسان (الحيوانات والطيور) أو بسبب عدم التعرض المناسب لضوء الشمس. عدم التعرض لضوء الشمس يمكن أن يسبب الكساح للثدييات بسبب افتقار الأغذية لفيتامين D، وقد ثبت فى القرن العشرين أن الكساح يمكن الشفاء منه بتناول زيت كبد الحوت أو بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية أو ضوء الشمس.

يوجد فيتامين D فى عدة أشكال. والشكل الذي يتم الحصول عليه بالتشعيع هو فيتامين $D_3$ أو **Cholecalciferol** كوليكالسيفيرول ويصنع من مادة كيميائية تعرف 7-دايهيدروكوليسترول (**7-Dehydrocholestrol**) موجودة فى خلايا الجلد الحية. وتخليق الفيتامين من العملية الكيميائية الضوئية بالتعريض لأشعة **UVB** تتم على عدة مراحل خلالها تتحول بعض الروابط الكيميائية الأحادية بامتصاص أشعة **UV**. يعتقد أن فيتامين $D_3$ هو فيتامين **D** الحيواني. فى المواد النباتية الفيتامين الناتج عن التعرض لأشعة **UVB** هو فيتامين $D_2$ أو **Ergocalciferol** وهو ناتج ضوئي ينتج عن التشعيع لمادة **Ergosterol** بأشعة **UVB** وهى مواد شائعة فى بعض خلايا النبات. بمجرد تكون فيتامين **D** فى الجلد فإنه يدخل الدم لينتقل إلى الكبد ليحدث له تفاعل حيوي (أيض) إلى 25- هيدروكسى فيتامين **D** (**25-Hydroxy Vitamine D**).

يحتاج تكوين فيتامين $D_3$ فى الجلد إلى التعرض لضوء الشمس لفترات قصيرة فقط، من الربيع حتى الخريف، 15دقيقة فى حالة تعريض اليد والأذرع والوجه بين 9 صباحا حتى 4 مساءً وهذا وقت مناسب لمدنا بما نحتاجه من فيتامين $D_3$.

## 4.2 تأثير الأشعة فوق البنفسجية علي الخلية .

## Effect of UV Radiation on Cell

عندما تتعرض الخلايا لضوء الشمس فإنها تمتص بعض الأشعة فوق البنفسجية وبصفة خاصة فى منطقة UVB. تمتص خلايا الحامض النووي والبروتينات معظم الأشعة التي غالبا ما تحدث لها تغيرات كيمو ضوئية. بعد التعرض – الجزيئات التي تغيرت سوف تؤثر فى وظيفة أو أكثر من وظائف الخلية. فى الحيوانات عديدة الخلايا المعقدة مثل الإنسان، أشعة UVB فقط هي التي تخترق وتمتصها الخلايا القريبة من السطح فى حين تبقى الخلايا العميقة فى الأنسجة محمية _ بعيدة عن التأثير. تصل أشعة UVA إلى خلايا الأنسجة الأعمق خلال السطح الخارجي (البشرة Epidermis) وبعضها أيضا يخترق كل طبقة الجلد. جميع الأطوال الموجية للأشعة لها خواص مشتركة، فمثلا تنتشر جميعها على هيئة موجات بنفس السرعة ( $3 \times 10^{10}$ سم/ ثانية)، وتعمل كأنها تتكون من حزم منفصلة من الطاقة، يطلق عليها الفوتونات. تتناسب طاقة الفوتونات تناسبا عكسيا مع الطول الموجي ($E = hc/\lambda$ حيث $h$ ثابت بلانك ).لكي تمتص هذه الفوتونات يجب أن تكون طاقتها مساوية للفرق بين طاقتي مستويين مثارين فى الجزيء أو الذرة.

عندما يمتص الجزيء كمّا من الأشعة فإنه يصبح مثارًا. وقد تسبب الطاقة المكتسبة تغيرات كيمو ضوئية فى الجزيئات المثارة أو قد تنبعث مرة أخرى كأشعة بنفس التردد (رنين) أو بطول موجي أطول (التفلور والتفسفر) أو أنها قد تبدد كحرارة. فى كل التفاعلات الكيمو ضوئية الفاعلة جدا، التي يتحول فيها كل جزيء ماص للأشعة تكون الكفاءة الكمية مساوية واحد. إذا تفاعل كسر فقط من الجزيئات المثارة تكون الفاعلية الكمية أقل من واحد، لكن إذا أنتج الجزيء المثار نواتج مثارة قد ينتج عن تفاعل التسلسل كفاءة كمية أكبر من واحد.

يعتمد تأثير الإشعاعات ذات الأطوال الموجية المختلفة على جميع الكائنات بالكامل على تأثير أشعة معينة على الخلايا التي يتكون منها الكائن، وعلى وجود

جزيئات ماصة فى الخلايا. يجب أن تمتص الأشعة لكي تحدث تأثيرا على الجزيء، نظرا لأن الطاقة الممتصة فقط هي التي تعمل على تفعيل التغير الكيميائي. مدى تأثر الجزيء بكمية الطاقة الممتصة يعتمد إذن على ما إذا كانت كمية الطاقة قادرة على رفع الجزيء إلى حالة تذبذبية أو إلى حالة إلكترونية مثارة. إذن يكون من المتوقع ، أن التأثير الكيموضوئي لن يتأثر بالطاقة الحرارية للجزيئات عند وقت التعريض للضوء، لأن الحرارة تؤثر فى مستويات الطاقة المنخفضة فى الجزيء، والتي تكون أوطأ من تلك المستويات المثارة بالفعل الكيموضوئى.

نظرا لأن كمية التفاعل كيموضوئى الناتجة عن الطاقة الممتصة تعتمد على عدد الجزيئات المثارة بالطاقة الضوئية، فيكون من غير المهم ما إذا كانت الجزيئات معرضة لشدة ضوء منخفضة لمدة طويلة، أو لشدة ضوء عالية لفترة قصيرة حيث إن حاصل ضرب الشدة فى الزمن يعطى نفس القيم. وهذا ما يطلق عليه قاعدة التبادل.

تحدد الطبيعة الكيميائية للجزيئات امتصاص الأشعة غير المؤينة، وخصوصا عندما تكون الذرات متصلة بروابط زوجية متبادلة مثل كربون – كربون، كربون – نتروجين، والجزيئات الحلقية. عندما توجد أنواع مختلفة من الروابط الزوجية والحلقات مثل الأحماض النووية والبروتينات يحدث الامتصاص عند أطوال موجية مختلفة وبدرجات متفاوته. لذلك يعتبر طيف امتصاص الجزيئات من أهم الخصائص المميزة لها.

## 5.2 طيف الفعل The Action Spectrum

كلما امتصت الجزيئات أشعة أكثر، كلما كان تأثير هذه الأشعة عليها أقوى، فمثلا فى حالة الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة، يتحول الأكسجين (الجزيء الأولى)(**Precusor**) إلى أوزون – (الناتج) لو أخذنا نفس الكم من الطاقة ولكن بأطوال موجية مختلفة فإن كمية التحول الكيموضوئية من الأكسجين

إلى الأوزون سوف تعتمد على كمية الطاقة الممتصة. ويتم الحصول على طيف الفعل من رسم العلاقة بين كمية التحول الكيموضوئى من الأولى إلى الناتج على المحور الرأسي مقابل الطول الموجي على المحور الأفقي. وهذا الطيف يكون مطابقا لطيف امتصاص الجزيء الأولى عند الأطوال الموجية المختلفة . إذن تعتبر هذه العلاقة مقياسًا للكفاءة النسبية للأطوال الموجية المختلفة فى تحويل الأولى إلى ناتج، أي أن طيف الفعل عبارة عن علاقة تعطى معلومات عن مدى فاعلية الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية فى إحداث تأثير بيولوجي مثل الاحمرار الجلدي شكل (5).

## 6.2 تأثيرات UVR على الإنسان

## Effects of UVR on Humans

التأثيرات البيولوجية الملحوظة فى الإنسان نتيجة التعرض لأشعة UV تكون محصورة فى الجلد والعين بسبب خاصية الاختراق الضعيف لأشعة UV فى أنسجة الإنسان. ويكون الاختراق فى الجلد أقل من واحد ملليمتر، وتمتص UVR فى أنسجة العين (أساسا فى القرنية والعدسة) قبل أن تصل إلى الشبكية **Retina**.

### تأثيرات UVR الشمسية على الجلد العادي

### Effects of Solar UVR on Normal Skin

تنقسم استجابة الجلد العادي لأشعة UV الشمسية إلى نوعين: تأثيرات حادة **Acute Effects** وتأثيرات مزمنة **Chronic Effects** والتأثير الحاد عبارة عن هجمة واحدة سريعة **Rapid Onset** لفترة قصيرة، يظهر أثرها بعد التعرض مباشرة، وعلى العكس التأثير المزمن هو فى الغالب هجمة بطيئة (أو تدريجية) لفترة طويلة . التفاعلات الحادة سوف تسبب حروق شمس **Sun Burn**، التنين **Tanning** وإنتاج فيتامين **D**. وتسبب التأثيرات المزمنة الشيخوخة الضوئية وسرطان الجلد وتنتج من التعرض لفترات طويلة أو متكررة لأشعة UV.

## - حروق الشمس Sun Burn

حروق الشمس أو احمرار الجلد **Erythema** هي إصابة حادة تحدث بعد التعرض الزائد لأشعة **UV** الشمسية. ينتج احمرار الجلد عن زيادة محتوى الدم في الجلد بسبب تمدد **Dilatation** الأوعية الدموية السطحية بالقشرة الجلدية **Dermis**.

## - الحصة الزمنية لحروق الشمس Time Courses of Sunburn

تعرض جلد الإنسان (غير المعتاد على العمل تحت الشمس) لمدة نصف ساعة في شمس الصيف الساخنة يكفى لحدوث احمرار جلدي معتدل. في أعقاب هذه الدرجة من التعرض، قد لا يظهر الاحمرار الجلدي [ **Erythema** ] لمدة أربع ساعات بالرغم أن القياسات باستخدام أجهزة أكثر حساسية من العين، بينت أن تمدد الأوعية الدموية **Vosadilstion** يبدأ في الحدوث أسرع من ذلك بكثير. يصل الاحمرار الجلدي إلى قمته بعد التعرض لمدة من **8** إلى **12** ساعة ويذبل **Fade** في مدى يوم أو اثنين. تعريض الجلد لأشعة الشمس الساطعة في الصيف لفترات متزايدة يقصر الوقت الذي يسبق ظهور احمرار الجلد تدريجيا ويطيل مدة استمراره ويزيد من شدته. الجرعات القوية يمكن أن تؤدى إلى أوديما (استسقاء ) **Edema**، آلام **Pains**، بثور **Blistering** وبعد عدة أيام يظهر التقشير **Peeling**.

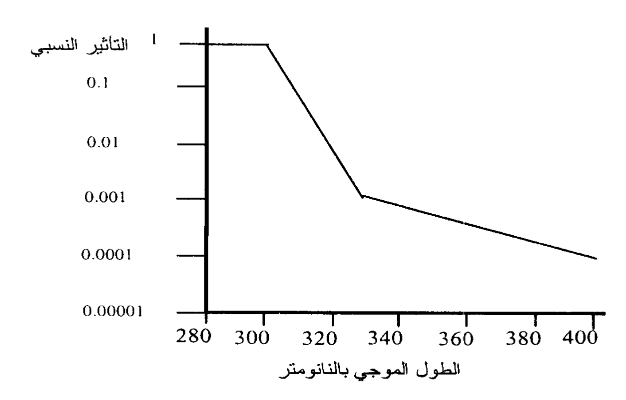
## - طيف الفعل للاحمرار الجلدي للأشعة فوق البنفسجية

**Action Spectrum 0f UV of Erythema**

فاعلية **UVR** عند الأطوال الموجية المختلفة في إحداث احمرار جلدي تم دراسته منذ أكثر من **80** عاما. والطريقة هي تعيين جرعة **UVR** عند سلسلة من الأطوال الموجية اللازمة لإحداث أدنى احمرار محسوس بعد **8** أو **24** ساعة من التشعيع. يطلق على هذه الجرعة **Minimal Erythema Dose** أدنى جرعة

للاحمرار الجلدي (MED). ويرسم مقلوب MED مقابل الطول الموجي ويعدل المنحنى طبقا لقياس الوحدة Normalized to Unity عند الطول الموجي الأكثر فاعلية.

بالرغم أن طيف الفعل الذي تم تعيينه بواسطة عدد كبير من الباحثين قد أظهر فروقا وخصوصا فى المنطقة الطيفية من 250 إلى 300 نانومتر إلا أنه يوجد اتفاق على أنه عند الأطوال الموّجية أعلى من 300 نانومتر تهبط الفاعلية بسرعة جدا وتصل عند 320 نانومتر إلى فاعلية مقدارها 1% من تلك التي عند 300 نانومتر) شكل (5).




شكل (5) طيف الفعل للاحمرار الجلدى.

فى بعض الدراسات الأخرى تم تعيين تأثير الاحمرار الجلدي حتى 400 نانومتر وقد تبين أن فاعلية UVR للاحمرار الجلدي تقل مع زيادة الطول الموجي خلال طيف الأشعة فوق البنفسجية، بالرغم أن معدل تغير الفاعلية يكون أقل بكثير من 330 إلى 400 نانومتر عن من 300–330 نانومتر وبالرغم أن الدراسات أثبتت أن تأثير UVA لإحداث احمرار جلدي أقل بكثير من تأثير UVB بمقدار 1000 مرة تقريبا فإن كثافة أشعة UVA العالية فى ضوء الشمس

(High Irradiant) يعنى أن أشعة UVA فى الصيف تساهم بحوالي من 15 إلى 20% من تفاعل حروق الشمس.

### - العوامل التي تؤثر فى تطور حروق الشمس

### Factors Influencing the Development of Sunburn

لون الجلد عامل مهم فى تحديد درجة الحروق التي سوف تحدث له فمثلا يحتاج الإنسان الأشقر من حوالي 15 إلى 30 دقيقة فقط فى الشمس الساطعة عند منتصف نهار الصيف لكي يحدث له تفاعل احمرار جلدي، بينما يحتاج الإنسان ذو الجلد المعتدل اللون إلى حوالي ساعة أو اثنين لكي يحدث له هذا الاحمرار، أما هؤلاء ذو البشرة السوداء(Nigro) فعادة لا يحدث لهم حروق شمس. توجد فروق تشريحية فى حساسية الاحمرار الجلدي. هناك بعض الخصائص الأخرى التي يمكن أن تحدد القابلية لحروق الشمس وتشمل لون الشعر ولون العيون والنمش. الوجه والرقبة والجذع تكون أكثر حساسية بمقدار مرتين أو أربع مرات عن الأطراف. وهذه الفروق التشريحية مرتبطة بتغير التعرض للشمس على الأجزاء المختلفة من الجسم. الأسطح الرأسية لشخص واقف تستقبل حوالي نصف UVR المحيطة بينما الأسطح الأفقية (مثل منطقة إبوليست Epaulet) الكتف تستقبل حتى 75%. لا تعتمد حساسية احمرار الجلد على نوع الجنس (الذكر أو الأنثى) بالرغم من أن حساسية احمرار الجلد قد تتغير مع العمر فالأطفال الصغار والمسنين يقال إنهم أكثر حساسية، وعلى أي حال حساسية الأطفال والمسنين لاحمرار الجلد لم تؤكدها الأبحاث بعد.

تأثير الحرارة والرطوبة والرياح قد تبين أنها تغير حساسية احمرار الجلد عند الفأر الذي تعرض لمصدر UVB صناعي، ولكن أهمية تغير هذه الظروف الجوية على تأثير حروق الشمس على الإنسان لم يتحقق بعد.

### – حروق الشمس وتكثر نسيج البشرة

**Sunburn and Epidermal Hyperplasia**

بالإضافة إلى الاحمرار الجلدى فإن دبغ الجلد **Tanning** ، تغليظ البشرة **Hyper Plasia** مكونان مهمان فى تفاعلات حروق الشمس المعتدلة. التعريض المعتدل لأشعة **UVB** مرة واحدة يمكن أن ينتج عنه مضاعفة السمك حتى ثلاث مرات خلال أسبوع إلى ثلاثة أسابيع والتعرض المتكرر كل يوم أو يومين حتى سبعة أسابيع يزيد سمك طبقة الجلد من ثلاث إلى خمس مرات. زيادة سمك الجلد تعود إلى الحالة العادية بعد شهر أو شهرين من إيقاف الأشعة.

زيادة سمك الجلد، وخصوصا طبقة **Stratum Coneum** بعد التعرض لأشعة الشمس يمكن أن تؤدى إلى زيادة الوقاية من **UVR** بمعامل خمس مرات أو حتى أكثر.

### – دبغ الجلد (لفحة الشمس) Tanning

بعض الناس يعرضون مساحات كبيرة من جلدهم إلى أشعة الشمس فى أيام الأجازات على شاطئ البحر والهدف الواضح من ذلك هو الناحية الجمالية، فى عملية الدبغ تصبح الصبغة المسئولة عن لون الجلد أعتم وينتج منها كمية أكبر. وبصرف النظر عن الناحية الجمالية، دبغ الجلد يعتبر بمثابة جهاز وقاية للجلد ضد تلف الأشعة فوق البنفسجية. تعرض الجلد للشمس يحول اللون الأحمر الوردي السلمونى **Salmon Pink** إلى بنى ذهبي **Golden Brown** بالتفاعل الكيموضوئى. والميلانين الناتج فى الخلايا والذي يطلق عليه الخلية المقاومة السوداء **Meleno Cytes** هو الذي يعطى الجلد اللون البني.

صباغة الميلانين **Melanin Pegmantation**، نوعان:

1– بنائي **Constitutive**– لون الجلد المعروف فى الأجناس المختلفة تحدده العوامل الوراثية فقط.

2- اختيـــارى أو إرادي Faculative - الزيـــادة العكســـية فى الصـــباغة بالاستجابة لأشعة UV.

يوجد نوعان من صباغة الجلد أحدهما عاجل والآخر متأخر (آجل):

### - عتامة الصبغة العاجلة Immediate Pigment Darkening (IPD)

عبارة عن عتامة لحظية تحدث للجلد المعـــرض لأشـــعة UVA والضـــوء المرئـــي كلما زادت الصباغة كلما زادت القدرة على إظهار IPD. الصـــباغة العاجلـــة يمكـــن أن تصبح واضحة فى أثناء التعرض لمـــدة 5 إلى 10 دقـــائق لشـــمس الصـــيف وعـــادة تختفي بعد ساعة أو ساعتين.

الدراســـات بالميكروســـكوب الإلكتـــروني أظهـــرت أن الكيميـــاء الضـــوئية للملانين هي الآلية الغالبة فى IPD.

### - الصباغة المتأخرة Delayed Tanning

الصباغة المتأخرة الأكثر شيوعا تصبح ملحوظة بعد حـــوالي يـــوم أو يـــومين مـــن التعرض للشمس، وتزداد تدريجيا لمدة عدة أيام وقد تستمر لأسابيع أو أشهر.

يلي التعرض لأشعة UVR زيادة فى عدد الخليـــة اللمفيـــة الســـوداء الوظيفيـــة Functioning Melanocytes وزيـــادة نشـــاط أنـــزيم تيروســـيناز Enzyme tyrosinase. وهذا يؤدى إلى تكون ميلانين جديد ومـــن ثم زيـــادة فى عـــدد حبـــوب الميلانين خلال البشرة.

### - الشيخوخة الضوئية Photo aging

العلامات الطبية للشيخوخة الضـــوئية للجلـــد تشـــمل: الجفـــاف، الانكمـــاش العميق، تجاعيد الجلد Furrows، هبوط الجلـــد Sagging، فقـــد المرونـــة، صـــباغة مبقعـــــة Mottled Pigmentation، وتمـــــدد فى الأوعيـــــة الشـــــعرية

**Telangiectastia**. هذه الخصائص تعكس التلف البنائى الشديد فى البشرة. وقد وجد أن ربما أكثر من 80% من حالات الشيخوخة الضوئية الناتجة عن الأشعة فوق البنفسجية الشمسية تحدث فى مدى العشرين سنة الأولى من الحياة باستثناء هؤلاء الذين ينتج عن نظام حياهم تعرض قوى للأشعة.

### – طيف الفعل للشيخوخة الضوئية **Action Spectrum of Photo aging**

الأهمية النسبية للأطوال الموجية المختلفة فى شيخوخة جلد الإنسان ليس من السهل تحديدها نظرا لفترة الكمون **Latent** الطويلة والتقدم البطىء للشيخوخة الضوئية بدلا من ذلك اعتمد الباحثون على النتائج التي حصلوا عليها من تجاربهم على الفئران المنزوعة الشعر أو الخنازير.

حيث إن تقريبا ثلث أشعة **UVA** وأقل من 10% من أشعة **UVB** الساقطة على الجلد الأبيض تنفذ إلى البشرة **Derm**، ليس من المستغرب أن نتائج الدراسات الحديثة قد بينت أن التشعيع المزمن بأشعة **UVA, UVB** على جلد الفئران منزوعة الشعر ينتج عنه تغيرات هيستولوجية **Hystological** وفيزيائية ومرئية مميزة للشيخوخة الضوئية.

يجب أن نتذكر أن أشعة الشمس لا تشمل فقط **UVR** بل أيضا الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء. الضوء الأبيض يعتقد أنه غير مهم فى الشيخوخة الضوئية لكن الدراسات قد أكدت أن الأشعة تحت الحمراء يمكنها إتلاف الوسط البشرى بالرغم من الوقاية من الشيخوخة الضوئية. استخدام حواجز شمسية عليا قد بينت أنها تحجب **Inhibit** أو تمنع أو هبط الشيخوخة الضوئية فى الفأر المعرض لضوء الشمس فترة طويلة.

## – سرطان الجلد Skin Cancer

التعرض الزائد أو المتكرر لفترات طويلة تصل إلى عدد من السنين يسبب بعض أنواع سرطانات الجلد.

أكثر السرطانات شيوعا فى الولايات المتحدة، سرطانات الجلد، يشخص كل عام أكثر من مليون حالة جديدة لسرطان الجلد وذلك يوجد فى ولاية الأريزونا وأيضا فى أستراليا.

## – عوامل الخطر Risk Factors

بعض عوامل الخطر لإصابة الفرد بسرطان الجلد تكون خارج نطاق تحكم الفرد.

1– تاريخ العائلة

الأفراد الذين لديهم تاريخ عائلي فى سرطان الجلد يصبح احتمال إصابتهم بسرطان الجلد أكثر من غيرهم ممن لا يوجد لديهم هذا التاريخ.

2– الخصائص الفيزيائية (الطبيعية)

الأفراد ذو الجلد الأشقر والعيون الخضراء والزرقاء والشعر الأحمر والذين لديهم نمش يكون احتمال تعرضهم لخطر السرطان أكثر بكثير من غيرهم.

3– البيئة

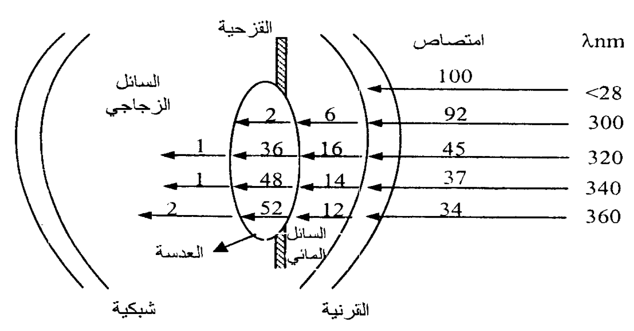
الأفراد الذين يعيشون أو يعملون أو يلعبون بالقرب من خط الاستواء عند مستويات مرتفعة فى أماكن جافة ومشمسة يكونون أكثر عرضة لخطر التعرض للشمس وحروق الشمس، وسرطان الجلد. الجبال عندها بعض من أشعة UV الأكثر شدة من على الأرض ، عند ارتفاع حوالي 10000 قدم تكون UV أكثر شدة بنسبة 50% من قيمتها عند مستوى البحر وأيضا نقص سمك طبقة أوزون الأرض الواقية تزيد تعرض أي فرد لأشعة UV. أثبتت الأبحاث أن النقص فى سمك طبقة الأوزون بمقدار 1% يزيد من شدة أشعة UV بمقدار 2%. يمكن أن تؤدى

الزيادة في شدة UV بمقدار 2% إلى زيادة مقدارها من 2% إلى 4% في سرطان الجلد. وتوجد علاقة واضحة بين تآكل طبقة الأوزون والزيادة في شدة التعرض لأشعة UV.

## تأثيرات UVR الشمسية على العين

## Effects of Solar UVR on Eye

الدليل على وجود صلة بين التعرض للأشعة فوق البنفسجية وتلف العين كان إلى وقت قريب ضعيفا. وعلى أي حال، الدراسات التي تمت حديثا دعمت هذه الصلة وأثبتت أن أشعة UVB هي جزء من الأشعة فوق البنفسجية الأكثر إضرارًا وإتلافًا للعين. ويبين شكل (6) درجة اختراق الأطوال الموجية المختلفة للأشعة فوق البنفسجية لأجزاء العين .




شكل (6) يبين اختراق أشعة UV للعين.

## التأثيرات على القرنية Effect on Cornea of Eye

الربط بين التعرض لأشعة UVB وإلتهاب القرنية الضوئي Photo Keratitis أو العمى الثلجي Snow Blindness قد ثبت في وقت ما. المستويات المحيطة من أشعة الشمس UVR تشير إلى أن اضطراب القرنية يكون

مقصورا إلى حد كبير بالحقول الثلجية والصحارى. لقد قدر أن التعرض لمدة ساعتين تقريبا فى العراء فى منتصف النهار على أرض مغطاة بالثلج يكون كافيا لحدوث إلتهاب قرني ضوئي، والتعرض من 6 – 8 ساعات يكون كافيا فى حالة الأرض الرملية.

لقد تبين أن العاملين فى العراء مع التعرض الشمسي العالي فى منتصف النهار تكون مخاطرهم لتكوين الأجنحة **Pterygium** ثلاثة أضعاف (نمو لحمى على القرنية الصافية العادية). وتكون هذه المخاطر ستة أضعاف ليتكون عندهم ترسيب بروتين محول على القرنية السطحية يؤدى إلى عتامة القرنية.

## التأثيرات على العدسة **Effects on the Lens**

الدراسات على حيوانات التجارب قد أكدت أن تطور أنواع معينة من الكتاراكت (عتامة العدسة المياه البيضاء) يرتبط بتعرض العين لأشعة **UVB** الحادة. الدراسات قد وجدت استجابة مشابهة فى الإنسان.

فى حالة العين الطبيعية تمنع عدسة العين الأشعة فوق البنفسجية من الوصول إلى الشبكية، لكن فى حالة الناس الذين أجروا عملية إزالة عدسة العين بسبب الكاتاراكت على سبيل المثال، يمكن فى هذه الحالة أن يفقد هؤلاء الناس بصرهم نتيجة التعرض لأشعة **UV** ولتجنب ذلك يجب زرع عدسات ماصة لأشعة **UV** أو استخدام نظارات بعدسات ماصة لأشعة **UV**.

## الجهاز المناعي

حديثا بينت نتائج الأبحاث أن أشعة **UV** يمكن أن تضر الجهاز المناعي وتسبب هبوطًا فى هذا الجهاز.

## 7.2 الوقاية من أشعة الشمس Sun safety

بدون الشمس لا يمكن ببساطة أن تكون للحياة وجود على الأرض، فهي تزودنا وتزود بيوتنا بالضوء والدفء وعلى أي حال أشعة الشمس يمكن أن تكون أيضا ضارة. التعرض الزائد للأشعة فوق البنفسجية الشمسية يمكن أن تتلف الجلد والعين. تأثيرات التلف الشمسي تشمل:

1- النمش أو الكلف

2 - الصبغة السوداء للجلد

3- حروق الشمس

4- انكماش الجلد

5- المياه البيضاء

6 - سرطان الجلد

### منع إتلاف الجلد والعين

حتى لو كنت غير قادر على التحكم فى نوع جلدك أو أين تعيش، فيمكنك التحكم فى قدرتك على أن تكون أمنا من الشمس. معظم سرطان الجلد ينتج من التعرض الزائد لأشعة الشمس **UV**. بتقليل تعرضك للشمس فإنك تساعد على منع السرطان الجلدي.

ينبغي أن تكون أنت وعائلتك حذرين من مخاطر التعرض الزائد للشمس وتستخدموا كل وسائل الأمان ضد الشمس للوقاية من المشاكل الصحية الناجمة عن التعرض للشمس.

### حدد وقتك فى الشمس

- تكون UV أكثر شدة فى الفترة من 10 صباحا حتى الثالثة مساء. لذلك نظم نشاطك فى الخلاء قبل وبعد ساعات ذروة شدة الشمس.

- حدد وقتك فى الشمس فى كـل دورة سنوية للشمس يمكـن أن تتخلـل UV السحب. الثلـوج يمكـن أن تعكـس UV إليـك وتسـبب حـروق الشـمس الشـديدة. إذا اضـطرتك الظـروف إلى التواجـد فى الخـلاء فى سـاعات ذروة الشمس احرص على أن يكون معك مظلة أو تتواجد فى المساحات المظللة.
- المظلات والأشجار وظلال البيوت هي مصادر جيدة للظل.
- الملابس **Clothing**

ينبغي أن تغطى الملابس كل الجلـد، مثـل القمصـان ذات الأكمـام الطويلـة وتكون بياقات وسراويل طويلة – ملابـس سـباحة واقيـة مـن الشـمس وجـوارب وأحذية.

- اختيار الملابس ضيقة النسيج أو محكمة بحيث تكون الفراغات بـين الخيـوط أقـل ما يمكن.
- اختيار الملابس ذات اللون الغامق لأنها جيدة الامتصـاص لأشـعةUV أكثـر مـن الملابس ذات الألوان الفاتحة.
- اختيار المنسوجات ذات الأوزان الثقيلة لأن قدرتها علـى منـع UV أكثـر مـن الملابس ذات الوزن الخفيف.
- لبس قبعات ذات أحرف عريضة.
- لبس نظارات شمسية تمنع 100% أشعة UV.
- استخدام واقي للشمس (دهان) **Use Sunscreens**.
- استخدام واقي (دهان) للشمس مع تغطية كاملة بالملابس .
- استخدام الدهان للوقاية وليس لتطويل مدة التعرض لأشعة UV.
- اختيار دهان واسـع الفائـدة لمنـع UVA المسـببة لشـيخوخة الجلـد، UVB المسببة لحروق الشمس.
- اختيار دهانات تقاوم الماء لكي لا تغسل بسهولة بالماء.
- تكرار استخدام الدهان كل ساعتين وبعد السباحة والتنشيف أو العرق.
- استخدام الدهانات قبل الخروج إلى الشمس بنصف سـاعة لكـي يكـون هنـاك وقت لكي يمتص الجلد هذه الكيماويات.

## تجنب أسرة صباغة الجلد ومصادر UVB الصناعية

- مصابيح الشمس تسبب السرطان.

بالرغم من بعض الادعاءات أنها أكثر أمانا، أشعة UV من أكشاك صباغة الجلد ليست آمنة تماما، ولكن في الحقيقة قد ارتبطت بسواد الجلد Mela Noma والتهاب العيون وهبوط في جهاز المناعة.

أسرة صباغة الجلد تسبب تعرض مرتفع الشدة - لأشعة UVA . هذه الأشعة يمكن أن تنفذ بعمق في أنسجة البشرة ويمكن أن تؤثر فيها وتضعف الأنسجة الضامة للجلد وهذا يعجل من الشيخوخة الضوئية للجلد وأيضا التجاعيد.

من الثابت أن أشعة UV المنبعثة من مصابيح الشمس في أكشاك صباغة الجلد يمكن أن تسبب إتلاف الجلد والعين وتكرار استخدام أكشاك الصباغة يمكن أن يسبب سرطان الجلد. وكالات حماية البيئة تحذر من استخدام هذه المصابيح وتطلب وضع علامة للتحذير على كل مصباح.

## أشعة UV الخطيرة

تجنب التعرض الزائد،كما في حالة ضوء الشمس الطبيعي، التعرض الزائد يمكن أن يسبب إصابة العين والجلد وتفاعلات الحساسية المفرطة. تكرار التعرض يمكن أن يسبب الشيخوخة المبكرة للجلد وسرطان الجلد.

جدول (6) يوضح مصادر الأشعة فوق البنفسجية الشائعة في مكان العمل

| المصدر | حد التعرض الزائد | وصف الأضرار |
| --- | --- | --- |
| الشمس | مرتفع جدا | أشعة UV من الشمس تكون أعظم ما يمكن في الربيع والصيف من 11 صباحا حتى الرابعة مساء. يجب أن لا يزيد التعرض عن 15 دقيقة في يوم الصيف الصافي والسحب لا تؤثر كثيرا. |
| أقواس اللحام الكهربائية | مرتفع جدا | في حالة أقواس اللحام يزيد خطر التعرض لأشعة UV، لا يزيد الوقت عن 15 ثانية على بعد مترين من القوس. |
| مصباح العلاج بأشعة UV | متوسط | المصباح يكون عادة في صندوق لكن بعض أشعة UV يمكن أن تهرب من الفتحات. |

| المصدر | حد التعرض الزائد | وصف الأضرار |
|---|---|---|
| الأضواء السوداء | متوسط | مصدر لأشعة UV قويطول موجي واحد ولا يعد ضوءًا مرئيًا. |
| مصباح الإخصاب | مرتفع | •تصمم معظم مصابيح الإضاءة بحيث لا تبعث أو تنفذ قدرا ضئيلا من أشعة UV |
| ليزرات UV | مرتفع | هى مصادر لأشعة UV المركزة عند طول موجي واحد مع عدم وجود ضوء مرئي |
| الإضاءة | منخفض | معظم المصابيح المستخدمة فى الإضاءة مصممة بحيث تبعث قليلا من أو لاتبعث على الإطلاق أشعة UV. |
| مصابيح الدبغ | مرتفع | وهذه تبعث عادة UVA و يجب أن يزيد الحد المسموح به لكي تسبب الدبغ (التان) |

## 8.2 تأثير أشعة الشمس فوق البنفسجية على الأحياء المائية

تغطى المياه البحرية % 71 من سطح الأرض. الكائنات التي تعيش سواء فى المياه العذبة أو مياه المحيطات يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات.

1- السابحة **(Nekton) Swimmers**

2- سكان القاع **(Benthos) Bottom- Dwellers**

3- المتحركة مع التيار **(Plankton) Driften**

الأحياء الطافية سواء كانت حيوانية أو نباتية هي مجموعة يطلق عليها **Icthy-Plankton** وهى البيض واليرقات المتحركة مع التيار لكثير من أصناف الأسماك. النباتات الطافية تستمد طاقتها من ضوء الشمس ونتيجة لذلك تعيش فى أعلى 100 متر من الماء، حيث ينفذ ضوء شمس كاف. وحيث إن الكائنات الحيوانية تعتمد على الكائنات النباتية فهي تعيش أيضا فى هذا النطاق.

التأثيرات الضارة لأشعة الشمس فوق البنفسجية على الكائنات البحرية معروفة منذ أكثر من 70 عاما والدراسات الحديثة تؤكد ذلك.

يخترق ضوء الشمس UVR المياه الطبيعية إلى أعماق بيولوجية مهمة ودرجة اختراق أشعة UVR وخصوصا فى منطقة UVB تعتمد بشدة على الخواص البصرية للمواد العضوية الذائبة والعالقة.

## 9.2 التأثير على النباتات البحرية

التأثير الضار لأشعة الشمس UVB على النباتات البحرية سوف يحدث عند أعماق تصل إلى 20 مترا فى المياه الصافية، 5 أمتار فى المياه المعكرة. إذا افترض أن النباتات البحرية تحس وتنظم نفسها فى مواقعها الرأسية بطريقة ما تحدد التعرض لأشعة UVB إلى مستوى مقبول عندئذ أي زيادة فى أشعة UVB المحيطة الناتجة عن تفريغ الأوزون سوف يحتاج إلى تحريك إلى أسفل حيث يوجد نقص فى الضوء المطلوب فى عملية التمثيل الضوئي ومن ثم خفض فى الإنتاجية. أيضا، التأثيرات غير المباشرة لمستويات أشعة UVB المحيطة تؤثر فى استمرار حياة النباتات البحرية بخفض إمكانية تحركها أو انتقالها وتثبيط استجابتها للضوء. وقد وجد أن انخفاض قدره 25% فى غلاف الأوزون سوف ينتج عنه زيادة فى مستويات أشعة UVB على أسطح المحيطات مما يؤدى إلى نقص قدره 35% تقريبا فى عملية البناء الضوئي للنباتات المائية.

## 10.2 التأثيرات على الحيوانات المائية

أثبتت الدراسات أن تشعيع الكائنات الحيوانية البحرية بأشعة UVBسوف يسبب تلفًا غير عكسي أو/ وموت ويقلل إخصاب الأحياء.

تمثل الأسماك 18% من متوسط البروتين الحيواني المستهلك فى العالم، بالرغم من أنه فى آسيا حيث يعيش نصف سكان العالم تصل هذه النسبة إلى 40%. أي زيادة فى أشعة UVB سوف تؤدى إلى نقص فى مخزون الأسماك كمصدر غذائي

للإنسان، وخصوصا إذا كانت أنواع الحيوانـات والنباتـات البحريـة الـتي تأقلمـت على المستويات الزائدة من أشـعة **UVB** لهـا قـيم غذائيـة مختلفـة عـن الأنـواع الموجودة.

## 11.2 تأثير UVR على النبات

قبل ثلاثين عاما لم يكن تـأثير **UVR** علـى النباتـات معروفـا وحـتى اليـوم المعرفة مازالت مقتصرة علـى التـأثيرات علـى المحاصـيل الزراعيـة والقليـل فقـط معروف عن التأثيرات على بعض الأنظمة الطبيعية مثـل الغابـات والحـشائش المـروج **Meaclouas** والـسافانا **Safana** والتنـدرا **Tundra** (الـبراري أو الـصحارى الجليدية) والنباتات الجبلية **Alpine**.

يوجد أكثر من **350000** صنف من نباتات المحاصـيل فى العـالم وبـالرغم مـن أن **80000** من هذه الأصناف صالح للأكـل (**Edible**) ، فـإن حـوالي **3000** منـها فقط يحصدها الإنسان ويستخدمها كغذاء، من **80** صنفًا مـن النباتـات الـتي طوعهـا الإنسان، **15** صنفًا فقط هي التي تعتـبر تقريبـا المـصدر الأساسـي لكـل سـعرات الطعام وثلاثة أرباع البروتينات المستهلكة فى العالم.

استجابة النباتات لأشـعة **UVB** يـشمل: الـتغيرات الفـسيولوجية، الكيميـاء الحيوية والشكل الخارجي وأيضا التشريحية. على العمـوم **UVR** تـؤثر تـأثيرا ضـارا على نمو النبات، وتقلص حجم الأوراق وتحدد المساحة المتاحـة لأسـر الطاقـة. وقـد تم الحصول على هذه النتائج من خلال دراسـة تمـت فى الـصوبة البيـوت الخـضراء والتعريض للمصادر الصناعية للأشعة فوق البنفـسجية. واسـتكمال الدراسـة علـى تأثير زيادة الأشعة فوق البنفسجية الأرضية على عوائـد المحـصول لم يكـن سـهلا، فى هذه المحاولات الحقلية القليلة التي تمت فى الخـلاء، كانـت النتـائج متباينـة. وزيـادة على ذلك تأثيرات **UVR** الطبيعية على النباتات سوف تتـأثر بعوامـل أخـرى مثـل النقص فى المـاء **Water Shortages**، ونقـص المعـادن وزيـادة تركيـزات ثـاني

أكسيد الكربون. من الملحوظ أن الزيادة فى مستويات (المحيط من ثاني أكسيد الكربون " تأثير البيوت الخضراء") لها تأثير مفيد على النباتات، ولكن هذا ليس بالضرورة تعويض زيادة الأخطار المتوقعة من زيادة أشعة UVB المحيطة والناتجة عن تفريغ الأوزون. فى الواقع معلومات أكثر تكون مطلوبة من أجل عمل أي تقديرات على ما إذا كانت تغيرات UVB المحيطة تؤثر تأثيرا فعالا على الإنتاجية الكلية للمحاصيل.

جدول(7) يبين بعض خصائص الشمس.

| | |
|---|---|
| العمر فى الوقت الراهن | 4.5 X $10^9$ years |
| العمر المتوقع | 10 X $10^9$ years |
| **المسافة إلى الأرض** | |
| المتوسط | 1.496 X $10^{11}$ m = 1.000AU |
| الاختلاف | 1.016736 to 0.98329 AU |
| القطر (الفوتوسفير) | 1.39 X 109 m |
| القطر الزاوي (من الأرض) | 9.6 X $10^{-3}$ radians |
| الاختلاف | ± 1.7 % |
| الحجم (الفوتوسفير) | 1.41 X $10^{27}$ $m^3$ |
| الكتلة | 1.987 X $10^{30}$ Kg |
| **المكونات** | |
| هيدروجين | 73.46 % |
| هليوم | 24.85 % |
| أكسجين | 0.77 % |
| كربون | 0.29 % |
| حديد | 0.16 % |
| نيون | 0.12 % |
| نيتروجين، سيليكون، مجنيزيوم، كبريت..إلخ | <0.1 % |
| **الكثافة** | |
| المتوسط | 14.1 Kg/$m^3$ |
| المركز | 1,600 Kg/$m^3$ |
| **الإشعاع الشمسي** | |
| الشمس الكاملة | 3.83 X 1026W |
| وحدة المساحة من السطح | 6.33 X $10^7$ W/$m^2$ |
| **درجة الحرارة** | |
| المركز | 15,000,000K |
| السطح (الفوتوسفير) | 6,050K |
| الهالة | 800,000 – 3,000 K |

# الضوء المرئي- الأشعة تحت الحمراء وأشعة التيراهرتز

# Visible Light - Infrared Radiation and Terahertz Radiation

## 1.3 الضوء المرئي Visible Light

الضوء المرئي جزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي يناظر الأطوال الموجية القريبة من قمة منحنى أشعة الشمس. فى التفاعل مع المادة يعمل الضوء المرئي على رفع الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى. ويتحلل الضوء الأبيض إلى ألوانه الطيفية بالتفريق فى المنشور. يمتد الطول الموجي للضوء المرئي من 400 إلى 750 نانومتر بتردد $10^{14}$(4-7.57) هرتز وطاقة من 1.65 إلى 3.1 إلكترون فولت.

## الألوان الطيفية Spectral Colors

نرى فى قوس قزح أوفى حالة فصل الأطوال الموجية بالمنشور مدى مستمر من الألوان الطيفية (الطيف المرئي). ويتكون اللون الطيفي من طول موجي واحد ويمكن ربطه بالطول الموجي كما هو موضح فى الجدول (8). ويعطى ليزر الهليوم – نيون (لون أحمر 632 نانومتر)، لكن معظم الأجسام الملونة تعطى مدى من الأطوال الموجية.

من السائد عمليا أن اللون يعرف بدلالة الأطوال الموجية للضـوء كمـا هـو موضح. وهذا ينطبق جيدا على الألوان الطيفيـة، لكـن قـد وجـد أن كـثيرا مـن الامتزاجات المختلفة للأطوال الموجية للضوء قد تنتج نفس اللون المحسوس.

جدول (8) الألوان وأطوالها الموجية وتردداقا ومدى طاقاقا.

| اللون | الطول الموجي نانومتر | التردد $10^{14}$هرتز | الطاقة $10^{-19}$جول |
|---|---|---|---|
| البنفسجي | 460-400 | 6.5-7.5 | 4.3-5.0 |
| النيلي | 475-460´ | 6.3-6.5 | 4.2-4.3 |
| الأزرق | 490-475 | 6.1-6.3 | 4.1-4.2 |
| الأخضر | 565-490 | 5.3-6.1 | 3.5-4.1 |
| الأصفر | 575-565 | 5.2-5.3 | 3.45-3.5 |
| البرتقالي | 600-575 | 5.0-5.2 | 3.3-3.45 |
| الأحمر | 800-600 | 3.7-5.0 | 2.5-3.3 |

الآلية الأولية فى امتصاص فوتونات الضوء المرئـي هـي رفـع الإلكترونـات إلى مستويات طاقة أعلى. ويوجد العديد مـن حـالات الطاقـة الممكنـة، لـذلك تمـتص الذرات الضوء المرئي بشدة. فى حالة مصدر قـوى للضـوء المرئـي يمكـن أن ينفـذ اللون الأحمر فى اليد أو فى طبقة من الجلد مبينة أن النهايـة الحمـراء لا تمـتص بـنفس شدة النهاية البنفسجية.

يسبب التعرض للضوء المرئـي رفـع حـرارة أو تسـخين الجسـم ولا يسـبب التأين الذي ينتج عنه مخاطر. يمكن أن تسخن وأنت داخـل سـيارتك بسـبب أشـعة الشمس النافذة من زجاج النوافذ ولن يحدث لـك حـروق شمـس لأنها تنـتج مـن الأشعة فوق البنفسجية التي يمتصها الزجاج ولا ينفذها داخل السيارة.

## 2.3 الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation

يرجع الفضل في اكتشاف الأشـعة تحـت الحمـراء للعـالم الإنجليـزى ولـيم

هيرشل (سنة 1800م) الذي لاحظ أثناء قياسه درجة حرارة الألوان المتعاقبة لضوء الشمس الأبيض، النافذ من المنشور الزجاجي، ارتفاعاً طفيفاً في درجة حرارة الترمومتر كلما اقترب من نهاية اللون الأحمر، كما لاحظ ارتفاعا واضحاً في درجة الحرارة عندما تعدى مستودع الترمومتر حدود اللون الأحمر.

أعزى هيرشل هذا الارتفاع في درجة الحرارة إلى وجود أشعة غير مرئية في المنطقة دون الحمراء وأطلق عليها في بادئ الأمر الأشعة الحرارية والتى تعرف الآن بالأشعة تحت الحمراء **Infrared Radiation**. التأثير الطبيعي الوحيد الملحوظ لهذه الأشعة حتى الآن هو التأثير الحراري.

يمتد الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء من **0.7** ميكرون إلى **1000** ميكرون وهى أشعة غير مرئية يبدأ طولها الموجي حيث تنتهي قدرة العين البشرية على الرؤية [ أي عندما تنتهي حساسية العين للضوء المرئي] وينتهي حيث تنتهي الخواص المميزة لها وتبدأ خواص الموجات الميكرونية. مدى حساسية العين البشرية للضوء المرئي يمتد بين اللون البنفسجي وطوله الموجي **400** نانومتر واللون الأحمر وطوله الموجي **800** نانومتر.

تقسم الأشعة تحت الحمراء عادة إلى ثلاث مناطق كما يلي:

1- **IRA** أو الأشعة تحت الحمراء القريبة من **780 - 1400** نانومتر.

2- **IRB** أو الأشعة تحت الحمراء الوسطى من **1400 - 3000** نانومتر.

3- **IRC** أو الأشعة تحت الحمراء البعيدة من **3000** نانومتر - واحد ملليمتر.

معظم وحدات التحكم عن بعد لجهاز التلفاز تعمل بواسطة الأشعة تحت الحمراء لذلك فنحن لا نرى الشعاع المنبعث من هذه الوحدة إلى جهاز التلفاز عند تغيير القنوات. طاقة كم فوتونات تحت الحمراء تتراوح بين **0.001** إلى **1.7** إلكترون فولت وهى فى نفس مدى الطاقات الفاصلة للحالات الكمية للتذبذبات الجزيئية. وتمتص تحت الحمراء بشدة أكثر من الموجات الميكرونية وبشدة أقل كثيرا من الضوء المرئي. وينتج عن امتصاص تحت الحمراء تسخين الأنسجة نظرا

لأنها تزيد نشاط التذبذبات الجزيئية. وتنفذ الأشعة تحت الحمراء من الجلد أكثر من الضوء المرئي، وهكذا يمكن استخدامها فى التصوير الفوتوغرافي للأوعية الدموية تحت الجلد.

## هل الأشعة تحت الحمراء خطيرة؟

على وجه العموم لا – على الأقل من العمليات الفيزيائية الموجودة طبيعيا. أي شكل من الإشعاع بما فى ذلك الضوء المرئي أو موجات الراديو يمكن أن يكون ضارا أو خطرا إذا كان شديد التركيز فى حزمة ضيقة (وهذا هو مبدأ الليزر) ذات قدرة عالية. نحن نتعرض للأشعة تحت الحمراء كل يوم فهي ليست أكثر من حرارة. وكل الأجسام التي ليست عند الصفر المطلق تبعث أشعة تحت الحمراء (عادة فوق $10^{o}K$). الصفر المطلق يحدد درجة الحرارة التي تتوقف عندها حركة الجزيئات وهو أبرد حرارة ممكنة ويساوى حوالي ناقص 273 درجة مئوية أو ناقص 460 درجة فهرنهيت. حتى مكعبات الثلج تشع أشعة حرارية. أجزاء صغيرة فقط من الطيف الكهرومغناطيسى تصل إلى الأرض فى حين يمتص الغلاف الجوى الجزء الأكبر منه. الضوء المرئي وموجات الراديو وأجزاء قليلة من الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء تصل إلى سطح الأرض، لكن أشعة $\gamma$ ومعظم الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء لاتصل إلى سطح الأرض. جزء كبير من ضوء تحت الحمراء يمتص ببخار الماء فى الغلاف الجوى. تحت الحمراء الحرارية التي تقابل الأطوال الموجية أعلى من 5 ميكرون هي مقياس مباشر لدرجة الحرارة. ويعتبر بليكسجلاس **Plexlaglins** واحد من أبسط المواد التي توقف مرور الأشعة تحت الحمراء، لذلك نستخدمها لتحقيق ظاهرة الصوبة. والماء ماص قوى للأشعة تحت الحمراء. ضوء تحت الحمراء ينعكس عند سطح أي مرآة جيدة وكلما كان مصدر الإشعاع أسخن كلما كان أكثر إشعاعا للأشعة تحت الحمراء. ونظرا لكونها أشعة حرارية، فالأشعة تحت الحمراء تحمل معلومات عن توزيع درجة حرارة الأجسام المنبعثة منها. وتحت الحمراء تستطيع اختراق الدخان الكثيف والسحب والغبار.

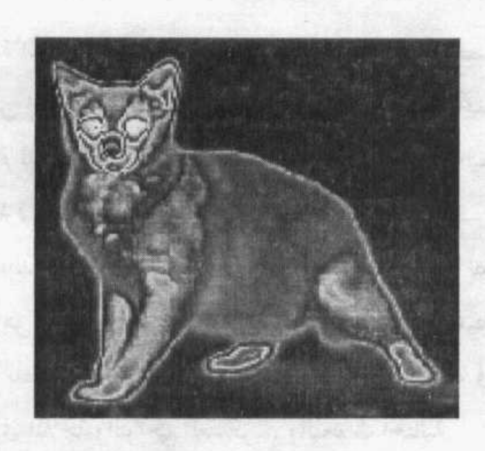
ومن هنا جاءت الفائدة الكبيرة لاستخدام آلية التصوير بالأشعة تحت الحمراء. وقد تم إنقاذ العديد من الأرواح بواسطة آلة التصوير بالأشعة تحت الحمراء الحرارية، فهي تستخدم للبحث عن الناس المفقودين فى الليل أو فى البحر وذلك عن طريق تشتت الحرارة الصادرة من أجسامهم، وأيضا الكشف عن الأشخاص داخل الأبنية المملوءة بالدخان الكثيف وتستخدم تحت الحمراء على نطاق واسع فى علوم الفلك والظواهر الجوية والآثار القديمة وأيضا علم وصف المحيطات. كما تستخدم تحت الحمراء للتفتيش عن الأنظمة الميكانيكية والكهربائية فى الدراسات الحيوانية وفى الطب، وفى الملاحة والنواحي العسكرية، والبحوث الجنائية.

الأشعة تحت الحمراء البعيدة لها خاصية حرارية ونحن نشعرها يوميا فى صورة حرارة. الحرارة التي تشعر بها من الشمس أو النار أو من أي جسم ساخن ما هي إلا أشعة تحت الحمراء. درجة حرارة الأطراف العصبية الحسية فى جلدنا يمكنها كشف الفرق فى درجة حرارة الأجزاء الداخلية من الجسم ودرجة حرارة الجلد الخارجي. تستخدم هذه الأشعة فى بعض الأحيان فى تسخين الطعام. تستخدم مصابيح خاصة تشع موجات تحت الحمراء الحرارية فى مطاعم الأغذية السريعة.

موجات تحت الحمراء الأقصر – تحت الحمراء القريبة ليست ساخنة على الإطلاق، فى الواقع، نحن لا نشعر بها. وتلك الأمواج القصيرة هي التي تستخدم فى وحدات التحكم عن بعد للتلفاز.

الإنسان عند درجة الحرارة الاعتيادية يبعث أشعة تحت الحمراء عند الطول الموجي حوالي 10ميكرون.

لالتقاط صور بالأشعة تحت الحمراء تستخدم آلات تصوير خاصة (كاميرات) وأفلام حساسة للفروق فى درجات الحرارة. هذا يعطى صورة تستطيع العين تفسيرها. فمثلا المساحات ذات اللون البرتقالي كما تظهر فى صورة



شكل (7) صورة قط بالأشعة تحت الحمراء تظهر ألوان مختلفة لعينيه وأظافره والفرو

القط تكون هي الأعظم سخونة أما المساحات ذات اللون الأبيض المائل للزرقة تكون هي الأقل سخونة شكل (7).

كل منا نحن البشر لا يستطيع رؤية الأشعة تحت الحمراء، لكن هل تعلم أن بعض أنواع الثعابين عندها بؤر حسية تستخدمها لتصوير ضوء تحت الحمراء؟. وهذه تساعد الثعابين على كشف الحيوانات ذات الدم الحار حتى فى الظلام.

علاوة على الإنسان والحيوان توجد أشياء كثيرة تشع أشعة تحت الحمراء وهذه تشمل الأرض، الشمس، المجرات والنجوم.

التصوير الفوتوغرافي بالأشعة تحت الحمراء يستهوى المصورين الهواة والمحترفين وأيضا العلماء والتقنيين، فهو وسيلة لالتقاط صور من غير الممكن الحصول عليها عن طريق أفلام التصوير التقليدية.

## مصادر الأشعة تحت الحمراء Sources of IR Radiation's

كل العمليات التي تتضمن حرارة عالية (مثل الأفران) تشع الأشعة تحت الحمراء. وتعتبر مصابيح الأشعة تحت الحمراء من أهم المصادر الصناعية لهذه الأشعة. وتستخدم هذه المصابيح فى المعامل لتبخير المذيبات وللتجفيف وتستخدم

فى المستشفيات لتخفيف شد العضلات. الإنسان أيضا يشع أشعة تحت حمراء نظرا لأن درجة حرارة جسده تكون دائما أعلى من درجة حرارة الجو المحيط به.

### 3.3 مخاطر الأشعة تحت الحمراء Hazards of IR Radiation's

الجلد والعين هما أكثر أعضاء جسم الإنسان تعرضا للأشعة تحت الحمراء. امتصاص عدسة العين للأشعة تحت الحمراء القريبة يساهم فى تطور المياه البيضاء. نافخ الزجاج يكون على وجه الخصوص عرضة إلى تطور المياه البيضاء بسبب تعرض عينيه للأشعة تحت الحمراء من الزجاج لفترات طويلة. امتصاص الماء عند الأطوال الموجية 1430 نانومتر و1959 نانومتر يتسبب فى زيادة امتصاص القرنية عند هذه الأطوال الموجية من منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة. وتمتص القرنية بشدة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة. بالنسبة للأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة الجرعة الممتصة تكون ذات قيمة عظمى فى صبغة طلاء الشبكية وهذه طبقة رقيقة خلف الشبكية تحتوى على حبيبات الميلانين. الأنواع المختلفة من آليات التلف تقدر اعتمادا على زمن التعرض.

تلف العين يمكن أن ينتج من التعرض للضوء المرئي وتكون العين أكثر تعرضا للتلف إذا كانت فى حالة مرضية. يعتمد مقدار التلف على سطوع المصدر والفترة الزمنية للتعرض. واللون الأزرق يعرض العين للتلف أكثر من الأطوال الموجية الأخرى.

الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية أعلى من 2500 نانومتر لا تخترق العين والقرنية تمتصها كلها. أجزاء صغيرة من الأشعة تحت الحمراء بين 1500 نانومتر و 2500 نانومتر تنفذ بنسب حسب الطول الموجي أي أنه عند 2200 (نفاذية 4%) وعند 1700 نانومتر ( 40% نفاذية). 50% من أشعة تحت الحمراء بأطوال موجية بين 780 و1500نانومتر تصل الشبكية بعد التركيز بالعدسة. الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تسبب المياه البيضاء حتى 10 إلى 15 سنة

بعد التعرض. هذا النوع من الكاتاراكت يعرف باسم عتامة نافخ الزجاج. الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تحرق الشبكية وتصيب العدسة (عتامة العدسة) والحدقة.

الحرارة الزائدة للأشعة تحت الحمراء يمكن أن تسبب صدمة حرارية خصوصا فى البيئة الرطبة عندما تمنع ملابس الفخذ تبخر العرق. التأثيرات المتأخرة التي تسببها الأشعة تحت الحمراء تشمل التهاب الجلد والشبكية.

الأشعة تحت الحمراء حتى 20 إلى Kj 30 على متر مربع لكل دقيقة لها تأثير مفيد فإنها تحسن النظام الدفاعي للجسم. من 50 إلى Kj 100 على متر مربع لكل دقيقة يكون التأثير عكسيا. الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الأعلى من 3000 نانومتر تستنفذ (تبدد) فى البشرة (طبقة الجلد الخارجية). طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء له قيمة عظمى تحت هذا الطول الموجي.

بالإضافة إلى الاعتماد على الطول الموجي، امتصاص تحت الحمراء بالجلد يتحدد أيضا بواسطة كمية الصبغة الموجودة وأيضا بكمية الكاروتين والأكسجين فى الدم. الأشعة تحت الحمراء تزيد درجة حرارة الجسم موضعيا. تحت 45°C يكون التأثير انعكاسيا وأقصى فيض مسموح هو فى حدود $1300J/m^2$. فوق 50°C تبدأ البروتونات تتخثر وفوق 70°C تتحطم الأنزيمات. الجلد يتفقفق (يتنقط) بعد تحوله للاحمرار. التعرض الشديد ولفترة طويلة يسبب حروقاً من الدرجة الأولى والثانية للأنسجة تحت الجلد.

### الوقاية من الأشعة تحت الحمراء Protection From IR Radiation

من الضروري على وجه الخصوص وقاية العيون من أشعة تحت الحمراء. نوع النظارة المناسبة التي يجب استخدامها يحددها طبيعة وشدة المصدر.

## 4.3 أشعة تيراهيرتز Terahertz Radiation

أشعة تيراهيرتز، $10^{12}$ هيرتز أي أن ترددها يساوى $10^{12}$ دورة فى الثانية

ويطلق عليها فجوة تيراهيرتز – وأيضا أشعة تي – هي أشعة كهرومغناطيسية تقع في المدى من $10^{11} - 3 \times 10^{12}$ هيرتز من الطيف الكهرومغناطيسى، يقع الحد الأول لها فوق منطقة الموجات الميكرونية تماما حيث تعمل أطباق الأقمار الصناعية والتليفونات المحمولة، ويقع الحد الأعلى بجوار ترددات تحت الحمراء التي تستخدم في بعض الأجهزة مثل أجهزة التحكم عن بعد للتليفزيون، أشعة تي لا ترى بالعين المجردة، ولم ينتبه الباحثون لفجوة تيراهيرتز أو أشعة تي إلا منذ فترة قصيرة جدا وذلك بسبب ضعف شدتها ولعدم وجود وسائل حساسة للكشف عنها. وتتولد أشعة تي من التذبذبات الجزيئية لأي جسم (مالم يكن عند درجة الصفر المطلق) في أي بيئة. معدل انتشارها يجعلها تعمل مثل هجين من الانبعاثات الراديوية والضوئية، اعتمادا على مكانها – عند النهاية المنخفضة من الطيف يطلق على أشعة تي، الموجات الملليمترية ويكون سلوكها مشابها لسلوك موجات الراديو. وعندما تثار عند ترددات أعلى فإنها تتميز بانبعاثات شبه ضوئية، مما يعني أنها تعمل كاتحاد طاقة موجية (راديو – ضوئية)، موضحة خواصا معينة لكليهما. على سبيل المثال، تشبه موجات الراديو في كونها تنبعث في نبضات ويمكنها الانتشار بسهولة خلال معظم المواد الصلبة، وعلى الجانب الآخر يمكن تركيزها أيضا بنفس الطرق المستخدمة لتركيز الضوء.

تشبه أشعة تي الأشعة السينية في خصائص الاختراق – فهي تمتلك القدرة على اختراق معظم المواد – ماعدا الماء والفلزات. ويمكن تركيزها مثل الضوء لتكوين صورة للجسم الذي تتخلله. وتستخدم لتكوين صور طبيعية فريدة للأنماط التذبذبية والدورانية للجزيئات التي تصطدم بها، لذلك فهي تميز بكفاءة مكونات عدد كبير من المواد المتجانسة ظاهريا عند المرور خلالها. هذه الأشعة المكتشفة حديثا غير مؤينة وتنبعث من الأجسام الحية وغير الحية. موجات تيراهيرتز – على خلاف الضوء – قادرة على الانتشار خلال السحب والدخان وتعطيها هذه الخاصية ميزة فعالة في قياسات معينة في الاستشعار عن بعد. من وجهة النظر العملية هي قادرة أيضا على المرور خلال النوافذ والورق والملابس

وحتى فى بعض الظروف الحوائط.

**أهم مميزاتها التي جعلتها تستخدم فى المجالات الطبية هي:**

1- ذات طاقة فوتونية منخفضة (4 mev) عند واحد تيراهيرتز، هذه الطاقة المنخفضة لا تسبب تأينًا فوتونيًا ضارًا للأنسجة البيولوجية.

2- عند ترددات تيراهيرتز، يظهر العديد من الجزيئات العضوية امتصاصا قويا نتيجة الانتقالات التذبذبية والدورانية. هذه الانتقالات هي صفة خاصة بالجزيئات وتعتبر بصمة مميزة لها.

**ترجع أهمية أشعة تى عامة للأسباب التالية:**

1 – تخترق كثير من المواد بما فى ذلك الخلايا الحية دون حدوث أي تلف بها.

2 – فى نفس الوقت تعطى طيفا عالى الحساسية لمكونات المواد.

3- التطبيقات الممكنة لأشعة تى تمتد من البحوث الأساسية مثل دراسة خواص الوصلات فائقة التوصيل إلى التصوير الطبي حتى الأمن. وتستخدم أشعة تى لتصوير سرطان الجلد.

## 5.3 التصوير بأشعة تى (موجات تيراهرتز)

## Imaging with Terahertz Waves

توصل علماء معامل بل **Bell Labs** إلى اختراع نظام تصوير سريع ومتطور يستخدم البصريات والإلكترونيات لرؤية مكونات الأشياء – تماما مثل أشعة إكس – تخترق المواد لتوضيح العناصر الأكثر كثافة فى الداخل. وهذه الأشعة يمكن أن تبين – على سبيل المثال – كم الدهن فى شريحة من لحم الخنزير، كم الماء فى ورقة شجر – وتبين أيضا ما تحتويه الطرود، هل هي فاكهة كالموز أم أنها قنابل دون مسها، هذه التقنية تستخدم نبضات أشعة تى

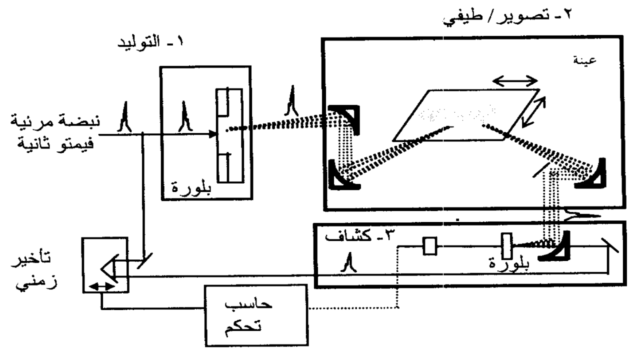
الكهرومغناطيسية ( تيراهرتز Terahertz THz تريليون دورة فى الثانية) للتفريق بين المواد المختلفة والمكونات الكيميائية أو البيئية. كما أن هذه التقنية لها العديد من التطبيقات المهمة فى تصوير الأنسجة الحيوية وتحليل التفاعل الكيميائي والتحكم البيئي والملوثات – معاينة أو مراقبة المواد ومراقبة الطرود – كشف التصدع وكشف العيوب فى أشباه الموصلات.

مرر العلماء أشعة تى خلال أشياء متنوعة بواسطة نظام تصوير يتكون من عدسات ومرايا لتركيب الإشارات وتحليل التغيرات التي تطرأ على أشعة تى نتيجة مرورها خلال هذه الأشياء. ميز الباحثون المواد بقياس كمية التشوه الناتج عن امتصاص أو تفريق وانعكاس أشعة تى المارة خلال الكاشف. تلك الأشعة التي تذهب إلى أجزاء شريحة من لحم الخنزير خالية من الدهن، سوف تشوه – على سبيل المثال – إلى أطوال موجية تختلف عن تشوه الأطوال الموجية التى تمر خلال الأجزاء الدهنية.

نظام التصوير مزود بوحدة وظيفتها معالجة الإشارة الرقمية لمعالجة البيانات وتحويلها إلى صور تظهر على شاشة الكمبيوتر. تظهر صورة شريحة لحم الخنزير مستويات مختلفة من نفاذية أشعة تى للمساحات الدهنية وغير الدهنية. (اللحم الخالص بدون دهن)، ولأن الدهون فى الغالب لا تمتص أشعة تى فهي تظهر بيضاء بينما اللحوم تمتص أشعة تى أكثر منها بمقدار **25** مرة لذا فهي تظهر معتمة.

بعدئذ يبرمج معالج الإشارة الرقمية للتعرف على الأشكال المميزة للموجات النافذة وتحديد مادة معينة عند بقعة مضاءة بحزمة أشعة تى . ويتم الحصول على هذه المعلومة لكل نقطة على كل جسم.

عديد من المركبات غيرت أشعة تى بطرق مميزة نتيجة الامتصاص أو الانعكاس. الجزيئات والمركبات الكيمائية وخصوصا فى الحالة الغازية تظهر خطوط امتصاص قوية تعتبر بمثابة بصمة للجزيئات. الفلزات والمواد عالية الموصلية الكهربائية معتمة تماما لأشعة تيراهرتز.




شكل (8) يبين مكونات جهاز التصوير بأشعة تي.

تقنية تصوير أشعة تي تستحق الاهتمام لأنها يمكن أن تفرق بين المكونات الكيميائية المختلفة داخل المادة حتى عندما يكون الجسم متجانسا في الضوء المرئي. وأيضا معظم اللدائن تنفذ أشعة تي لذا يمكن رؤية الأشياء داخل الطرود البلاستيكية.

شكل (8) يوضح مكونات جهاز التصوير بأشعة تي. تتولد نبضات تيراهيرتز بواسطة إضاءة بلورة شبه موصلة (تصمم خصيصا) بواسطة نبضات فائقة السرعة من الضوء المرئي. هذا التصادم يولد نبضات تيراهيرتز ذات سرعة كبيرة جدا – تستغرق فقط في حدود 100 فيمتوثانية (واحد فيمتوثانية = $10^{-15}$ x 1 ثانية) وعرض نطاقها كبير جدا (أكبر من 10 THz). عند استخدامه لتصوير البنية الداخلية يعمل نظام TPI تماما مثل نظام الرادار بالرغم أن TPI يمكن أن يستخدم النبضات النافذة وأيضا النبضات المنعكسة. تضيء نبضة التيراهيرتز الهدف، وتنعكس أجزاء من هذه النبضة من الطبقات الداخلية. تأخير أو تعوق النبضة عند مرورها خلال الجسم يعطى قياسا دقيقا للمسافة إلى الأسطح المختلفة داخل الجسم.

هكذا بمسح الحزمة عبر الهدف يمكن بناء صورة كاملة ثلاثية الأبعاد

للتركيب الداخلي. يتم الكشف المترابط لنبضات تيراهيرتز هذه بإضاءة بلورة ثانية بالحزمة المرئية. يقاس المجال الكهربائي لمجال التيراهيرتز كدالة للزمن بقوة تحليل فيمتوثانية للحصول على معلومات عن العمق. بعدئذ يمكن تحويل هذا الشكل الموجي رياضيا للحصول على طيف امتصاص العينة TPI. هذا يعني أن TPI عبارة عن طريقة تصوير طيفية يمكن استخدامها لتعيين المكونات الكيميائية وأيضا الملامح التركيبية للمواد. نظرا لأن أنواع عديدة من المواد الشائعة مثل الأنسجة الحية واللدائن، الملابس وأشباه الموصلات شبه منفذة عند هذه الترددات، فإن نبضات التيراهيرتز تكون ذات أهمية كبيرة فى تطبيقات التشخيص والاكتشاف. TPI ليست مؤينة وهى أقل خطورة فى استخدامها عن أشعة X ، مستويات القدرة المستخدمة تكون عادة أقل فى المتوسط عن خلفية تيراهيرتز التي نتعرض لها فى حياتنا اليومية.

## 6.3 مطيافية تيراهيرتز (TPS)

مطيافية تيراهيرتز النبضية يمكن استخدامها أيضا للحصول على طيف الجسم أو المادة لإعطاء معلومات عن المكونات الكيميائية والفيزيائية وأيضا التركيبية للمواد. وهذا يتم بسهولة بطريقة تحويل فورير الرياضية. ويستخدم ضوء التيراهيرتز فى المجالات التالية:

1- التصوير والتشخيص الطبي

2– فى تطبيقات العلوم الصيدلية

3– الأمن

4– الاختبارات غير الهدمية

فى السنوات الأخيرة استخدم العلماء ليزرات الفيمتوثانية وأشباه الموصلات أوالبللورات اللا خطية لتوليد نبضات بيكوثانية مترابطة لأشعة تي عند قدرة

حوالي واحد من عشرة من الألف من الواط. واستطاع الباحثون تـــدعيم حـــزم أشـــعة تى المترابطة عند متوسط قدرة 20 واط بعرض نطاق مـــن تـــرددات تحـــت الحمـــراء البعيدة.

أمكن توليد حزم أشعة تى عالية القدرة فى معامل بيركيلـــي، فى هـــذه التجربـــة استخدم الباحثون معجل خطى لإنتاج حـــزم أشـــعة بتـــردد تيراهيرتـــز **Tera Hertz Frequency Radiation** بقـــدرة عاليـــة جـــدا. كمـــا ســـبق وذكرنـــا، تمكـــن الباحثون من تصميم حلقة تيراهيرتز من أجل الحصول علـــى مـــصدر ضـــوئي متطـــور **(ALS)**.

## 7.3 حلقة سينكروترون لتوليد أشعة تى
## Synchrotron Ring to Generate T-Rays

اســـتخدم البـــاحثون فى معامـــل جيفرســـون **Jefferson Lab** نوعًـــا مـــن المعجلات لإنتاج أشعة تـــى. فى هـــذه التجربـــة عجلـــت حـــزم صـــغيرة جـــدا مـــن الإلكترونات – طول فترة النبضة حوالي 500 فيمتو ثانيـــة – إلى طاقـــات حـــوالي 40 مليون إلكترون فولت.تمرر نبـــضات الفيمتـــو ثانيـــة هـــذه ذات الطاقـــة 40 مليـــون إلكترون فولت بعدئذ خلال مجال مغناطيسي قـــوى لمغنـــاطيس مـــنحنى نـــصف قطـــره متر واحد. وهذا الإجـــراء يجعـــل الإلكترونـــات تنحـــرف عـــن مـــسارها، ويجعـــل الإلكترونات تعطى طاقة فى شكل أشعة تى عالية القدرة.

يتكون سينكروترون بيركلي **Berkeley** من ثلاثة أجزاء رئيسية :

1– معجل خطى **Linac** يرفع طاقة الإلكترونات إلى **50Mev**.

2– حلقة سينكروترون ذات محـــرك كهربـــائي إضـــافي ، **Booster Synchrotron Ring** لرفع طاقة هذه الإلكترونات إلى تقريبا 2 بليون إلكترون فولت .

3– حلقة تخزين **Storage Ring** محيطهـــا حـــوالي 200 متـــرا (600قـــدم) لتـــدوير الإلكترونات فى حزمة سمكها لا يزيد عن سمك شعرة الإنسان.

عند مصدر أشعة السينكروترون، تبعث الإلكترونات أشعة عند توجيهها بالمغناطيسات حول حلقة التخزين، ويبعث السينكروترون أشعة إكس قوية والتي لها عديد من الاستعمالات فى البحوث العلمية. ولكنها تبعث أيضا أشعة تى ضعيفة. ضعف أشعة تى يرجع إلى أن الإلكترونات التي تتسابق حول حلقة التخزين تسير فى حزم منفصلة طولها حوالي 5 ملليمترات. ونظرا لأن طول موجة أشعة التيراهيرتز يكون أقل من واحد ملليمتر فإن مليون إلكترون أو ما يقارب ذلك فى كل حزمة تبعث أشعة خارج الطور Out–of Phase والموجات تلاشى بعضها البعض فى الخارج، وتكون قدرة أشعة تى منخفضة.

فى دراسة حديثة أثبت فريق من الباحثين أنه بواسطة ضبط شدة بعض المغناطيسات فى حلقة التخزين يمكن تقليل طول الحزمة إلى حوالي واحد ملليمتر. عندئذ تعمل الحزمة كجسيم واحد عملاق Giant Macro Particle ويبعث أشعة تى مترابطة، وهى حزمة من أشعة تحت الحمراء البعيدة تشبه حزمة الليزر.

## 8.3 السينكروترون كمصدر للأشعة تحت الحمراء الوسطى
## Synchrotron as an Ideal Source of Mid IR

ضوء تحت الحمراء فى المنطقة الوسطى مفيد بدرجة عظيمة للدراسات البيولوجية لأنه يقدم مسحًا شاملاً ومباشرًا لكل الأنماط التذبذبية للروابط الكيميائية التي تربط الذرات معا. فى حين أن المصادر القوية للأشعة تحت الحمراء فى المنطقة الوسطى تحسن قوة التحليل إلا أنها تنتج كميات كبيرة من الحرارة والتي تقتل الخلايا الحية. قد بين الباحثون أن الأشعة تحت الحمراء الوسطى الصادرة من السينكروترون لا تنتج تسخينًا زائدًا للعينات البيولوجية، وقد فتح ذلك بابًا لاستخدام السينكروترون كمصدر للأشعة تحت الحمراء الوسطى فى المطيافية ، مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير.

# الموجات الميكرونية وترددات الراديو
# Microwave and Radio Frequencies

## 1.4 الموجات الميكرونية وترددات الراديو
## Microwave and Radio Frequencies

الشمس والنجوم هما المصدر الرئيسي لأشعة الميكروويف والترددات الراديوية **RF**. تنتج بعض ترددات **RF** المنخفضة من العواصف الرعدية. الميكروويف موجات قصيرة جدا من الطاقة الكهرومغناطيسية والتي تنتقل بسرعة الضوء **182,186** ميل فى الثانية. الميكروويف المستخدمة فى أفران الميكروويف هي من نفس عائلة ترددات الإشارات المستخدمة فى الرادار ومحطات إذاعة الراديو والتليفزيون **TV**. موجات الميكروويف هي مثال من الموجات المستعرضة. والميكروويف التي تستخدم فى أفران الميكروويف تتذبذب **2450** مليون دورة فى الثانية. تقع هذه المنطقة على طيف التردد عند النهاية الصغرى لنطاق الرادار وأعلى قليلا من الترددات المستخدمة فى قنوات التليفزيون **TV**، **UHF** ( **Ultra High Frequencies**)، وفى منطقة الأشعة غير المؤينة ومن المهم أن نشير هنا إلى أنه بالرغم من أن الميكروويف لا تؤين إلا أنها يمكن أن تكون خطيرة. فإذا كانت هذه الموجات قادرة على طهي قطعة لحم، فمن المؤكد أن يكون لها نفس التأثير على أنسجة الإنسان إذا تعرضت لفترات زمنية طويلة لدرجة كافية. بعض أعضاء معينة من الجسم تكون – على وجه الخصوص – أكثر حساسية للتأثير الحراري، ويقصد بحراري هنا التسخين. تنشأ المخاطر فى هذه الحالة من التسخين

المتولد من الميكروويف. فمثلا إذا تعرضت عدسات العين إلى تسخين زائد من الميكروويف فإن دورها الدموية تصبح غير قادرة على تزويدها بالتبريد الكافي، وسوف تصبح مثل بياض البيضة. وأيضا المعدة والأمعاء والمثانة، على وجه الخصوص، تكون معرضة للتلف الخراري من المستويات العالية من الميكروويف. والجدير بالذكر أن مصطلح الترددات الراديوية يستخدم للترددات الراديوية RF للتعبير عن الترددات حتى 300 GHz، لكن يستخدم مصطلح الميكروويف حتى مدى الترددات من 300MHz إلى 300GHz (الطول الموجي من 1m إلى واحد ملليمتر).

يقسم الشعاع غير المؤين إلى ثلاث مجموعات:

1. ساكن كهربائيا – Electrostatic لا يتغير مع الزمن.

2 . تردد منخفض Low Frequency مثل تيار المنازل.

3 . التردد الراديوى RF or Radio Frequency (أكبرمن 30KHz أو أقل من 300GHz).

أشكال أخرى من الأشعة ذات الطبيعة الكهرومغناطيسية توجد فى الجزء الأعلى من الطيف الترددي. (أعلى من 10 THz أو $10^{13}$ Hz) وتشمل الأشعة تحت الحمراء IR (حرارة)، والضوء المرئي، ثم الأشعة المؤينة، الأشعة فوق البنفسجية، أشعة X، أشعة جاما والأشعة الكونية. كل أشكال الأشعة لها تأثيرات ضارة على الصحة عندما تكون شديدة أو يكون التعرض لها لمدة طويلة.

يبين جدول (9 )النطق المختلفة للترددات الراديوية.

جدول (9 )النطق المختلفة للترددات الراديوية

| النطاق | ميكروويف رادار | TV&FM | موجات الراديو القصيرة | AMراديو |
|---|---|---|---|---|
| التردد | 1.6-30 GHz | 54-1600MHz | 1.605-54MHz | 500-1500KHz |
| طول الموجة | 187-10 mm | 5.55-0.187m | 187-5. 55m | 600-200m |
| الطاقة | $0.66x10^{-5}$-$0.12x10^{-3}$ eV | $0.22x10^{-6}$-$0.66x10^{-5}$ev | $0.66x10^{-8}$-$0.22x10^{-6}$eV | 2-$6x10^{-9}$eV |

الرموز الشائعة للنطق المستخدمة فى الاتصالات الراديوية والاتصالات الأخرى.

| النطاق | التردد |
|---|---|
| (LF) ترددات منخفضة | 30 – 300 KHz |
| (MF) ترددات متوسطة | 0.3 – 3 MHz |
| (HF) ترددات عالية | 3 – 30 MHz |
| (VHF) ترددات عالية جدا | 30 – 300 MHz |
| (UHF) ترددات فوق العالية | 0.3 – 3 GHz |
| (SHF) ترددات فائقة العلو | 3 – 30 GHz |
| (EHF) ترددات أكثر من عالية | 30 – 300 GHz |
| (LW) موجات طويلة | 150 – 285 KHz |
| (MW) موجات متوسطة | 0.53 – 1.6 MHz |
| (SW) موجات قصيرة | 2.3 – 26.1 MHz |

تستخدم طاقة الترددات الراديوية فى خدمات الاتصالات للجمهور وفى الصناعة والهيئات الحكومية. محطات بث الراديو والتليفزيون وخدمات اتصالات التليفون الخلوي، والتليفون الشخصي (PCS)، التليفونات اللاسلكية، راديوالعمل، راديو الاتصالات لأقسام البوليس والمطافئ ـ راديو الهواة واتصالات الأقمار الصناعية، ما هي إلا أمثلة قليلة من استخدامات طاقة الترددات الراديوية فى الاتصالات.

علاوة على استخدام طاقة الترددات الراديوية فى الاتصالات فإنها تستخدم أيضا فى أفران الميكروويف والرادار. كما أنها تستخدم فى التسخين والتثبيت فى الصناعة حيث تولد الأجهزة الإلكترونية أشعة ترددات راديوية تسخن المواد تحت المعالجة بسرعة كما يحدث فى طهي الطعام بأفران الميكروويف. سخانات ومثبتات RF لها استخدامات متعددة فى الصناعة تشمل: تشكيل المواد البلاستيكية وتغرية المنتجات الخشبية ومعالجة المنتجات الغذائية. ثمة استخدامات أخرى تتمثل فى التطبيقات الطبية وتشمل: التقنية التي يطلق عليها النفاذ الحراري التي تتميز بقدرة طاقة RF على التسخين السريع للأنسجة تحت سطح الجسم. تسخين الأنسجة قد تكون مفيدة فى العلاج الحراري وينبغي أن نشير أيضا إلى أن الترددات

الراديوية فى منطقة الميكروويف (عدة مئات من الميجا هرتز MHz إلى عدة جيجا هرتز GHz) تستخدم على نطاق واسع فى أغراض الاتصالات، على سبيل المثال – الراديو الخلوي، خدمات الاتصالات الشخصية (PCS). اتصالات الميكروويف للربط بين نقطة وأخرى، ربط الاتصال بين المحطات الأرضية والأقمار الصناعية أثناء دورانها، وفى بعض عمليات البث الإذاعي مثل من الأستوديو إلى المرسل (STL) فقط، راديو جمع الأخبار الإلكترونية. تعطى أنظمة رادار الميكروويف معلومات عن المرور الجوى والمناخ وتستخدم بكثافة فى أعمال الشرطة والجيش، الميكروويف تستخدم فى أغراض علاجية متنوعة تشمل التسخين الانتقائي للأورام.

قد سجلت الأبحاث التي أجريت فى مجال التسخين بالموجات الميكرونية كمصدر بديل للطاقة تغيرات غير متوقعة أثناء معاملة المواد، فقد وجدوا أن العمليات الكيميائية فى البلمرات والمواد العضوية تتم عند درجات حرارة أقل مع زيادة معدل التفاعلات ونقص طاقة التنشيط عند التسخين بالموجات الميكرونية وذلك مقارنة بطرق التسخين المعتادة.

قد ذكرت بعض البحوث أن التغيرات التي تحدث للمادة أثناء التسخين بالموجات الميكرونية تعتمد على خواصها العزلية والتوصيلية. الموجات الميكرونية تفقد طاقتها فى المادة بواسطة آليتين هما التوصيل الأيونى ودوران ثنائي القطب، فى كثير من التطبيقات العملية للتسخين بالموجات الميكرونية يحدث التوصيل الأيونى ودوران ثنائي القطب فى نفس الوقت.

من أهم النتائج التي توصل إليها الباحثون أن التسخين بأفران الميكروويف يفضل على التسخين بالأفران العادية سواء كانت كهربائية أو غازية وذلك لأن التسخين بالموجات الميكرونية يتخلل المواد وبذلك يكون التسخين حجميا لا سطحيا، وهذا يعنى أن التسخين يكون منتظما داخل المادة والإجهاد الناتج فى بنية المواد نتيجة التدرج الحراري عن طريق التسخين العادي يتلاشى أو يقل فى حالة التسخين بالموجات الميكرونية.

فى السنوات الأخيرة تم استخدام التسخين بالموجات الميكرونية فى معاملة المواد مثل اللدائن والبلمرات والمتراكبات والسيراميك. وقد وجد أن التسخين بالموجات الميكرونية أكثر فعالية من التسخين بالطرق العادية فى تنشيط تفاعلات البلمرة وتعجيل التفاعلات الكيميائية فى المحاليل وإذابة العينات الجيولوجية فى الأحماض المعدنية وتحضير العقاقير الطبية. كما تستخدم هذه التقنية فى تحضير مركبات غير عضوية فى الحالة الصلبة فى فترة زمنية قصيرة جدا مقارنة بالوقت المستغرق فى حالة الأفران العادية.

والجدير بالذكر أن العديد من أكاسيد المعادن لا تمتص الموجات الميكرونية والبعض الآخر يمتصها. يستخدم هذا التسخين فى عمليات التجفيف والانصهار والتلدين وفى التخلص من الكيماويات الزائدة عن طريق التبخير تحت ضغط منخفض. كما أن التحكم فى عمليات تحضير المواد بدقة عالية مع التسخين المباشر لمواد التفاعل يجعل التسخين بالموجات الميكرونية من أهم الوسائل لتوفير الطاقة فمن الناحية الاقتصادية فإنها تخفض تكلفة العمليات التي تجرى فى البلمرة.

يتكون مجال الترددات الراديوية من مركبتين، كهربائية ومغناطيسية (أي مجال كهربائى، وآخر مغناطيسي). ويعبر عن شدة مجال **RF** بدلالة الوحدات الخاصة المستخدمة فى قياس كل من المركبتين. أي وحدة الفولط لكل متر (**V/m**) التي تستخدم فى شدة المجال الكهربائي ووحدة الأمبير لكل متر (**A/m**) التي تستخدم للتعبير عن المجال المغناطيسي.

الوحدة الأخرى ذات الاستخدام الشائع فى وصف مجال **RF** الكهرومغناطيسى هي كثافة القدرة وتستخدم كثافة القدرة عندما تكون نقطة القياس بعيدة بقدر كاف عن جهاز إرسال **RF**. وتعرف كثافة القدرة بأنها القدرة لكل وحدة مساحة. ويمكن التعبير عنها، على سبيل المثال، بدلالة المللي واط / سم2

(**mw/Cm$^2$**) أو بالميكرو واط لكل سم2 (**µw/Cm$^2$**)

$10^{-3}W = 1mw, 10^{-6}w = 1\mu w$

فى منطقة الميكروويف أو الترددات الأعلى من ذلــك تســتخدم وحــدة كثافــة القدرة للتعبير عن الشدة نظرا لأن التعرض يمكن أن يتم فى المجال البعيد.

## 2.4 التأثيرات الحرارية لأشعة RF

## Thermal Effects of RF Radiation

من المعروف جيــدا أن الطاقــة الكهرومغناطيســية تســبب تســخينًا حراريًــا للأنســجة الحيــة. أفــران الموجــات الميكرونيــة (الميكروويــف) تســتخدم الطاقــة الكهرومغناطيسية لتسخين وطهى الطعــام. أفــران الميكروويــف(Raytheon1947) هى فى الأساس متذبذبات الجنترون (أنبوبــة إرســال الــرادار / فجــوة) تعمــل عنــد 2.45GHz (بعض الأنظمة التي ظهرت فى أواخــر التســعينات 1990 ترســل عنــد 5.8GHz. وتكون كمية التسخين دالة للقــدرة المنقولــة ودورة التشــغيل (الــزمن). أقصى تسخين سطحي نتيجــة تعــريض إنســان عــادى للتــرددات الراديويــة RF يحدث عند ترددات تتراوح بين 30MHz إلى 120MHz.

يعتمد تسخين الأنسجة على تــردد المصــدر وثابــت العــزل، المحتــوى المــائي وسمك الأنسجة. وكلما كانت موصلية الأنسجة عالية كلمــا كانــت الطاقــة الممتصــة والحرارة المتولدة أكثر. يحتاج تسخين الأنسجة إلى كمية ضخمة نســبيا مــن الأشــعة. مستويات الأشعة المنخفضة إلى الحد الذي لا ينتج عنه حرارة قد يكــون لهــا تــأثيرات أخرى على المستوى الخلوي، علما بــأن معظــم الخــبراء لا يوافقــون علــى ذلــك. ويعتقد البعض منهم أن معظم التأثيرات الصــحية غــير الحراريــة تحتــاج مســتويات مجال أعلى بكثير مقارنة بتأثيرات التسخين الحراري.

المجالات القوية لدرجة كافية لإحــداث تســخين تحتــاج مــن مئــات إلى آلاف الواط. التسخين الموضــعي لحــوالي واحــد واط لكــل كيلــوجرام يمكنــه إتــلاف الأورام. درجة حرارة الأورام ترتفع إلى مــا بــين 43 – 45 درجــة مئويــة. أنطقــة

الترددات المحـــددة للاســـتعمال الطـــبي والـــتي تشـــمل ,2450, 915, 40.68, 27.12 13.56 MHz (بعـــض أفـــران الميكروويـــف تعمـــل عنـــد 2.45GHz)، وتـــرددات أخرى أظهرت نتائج أفضل فى بعض الحالات، المجالات الـــتي تســـبب تســـخين معتـــدل فى إمكانها تعزيز شفاء الأنسجة أو ارتخاء العضلات.

## 3.4 فقد العزل الكهربائي Dielectric Loss

يعتمد نموذج تسخين العينة التي يتم تسخينها، جزئيـــا، علـــى معامـــل التبديـــد Dissipation Factor للعينة ($\tan\delta$)، ومعامـــل التبديـــد هـــو النســـبة بـــين فقـــد العزل الكهربائي للعينة أو معامل الفقـــد Loss Factor ($\varepsilon''$) وثابـــت العـــزل لهـــا ($\varepsilon'$) أى أن

$$\tan\delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$$

ثابت العزل يقيس قدرة العينة على اعتراض (إعاقـــة) طاقـــة الميكروويـــف عنـــد المرور خلالها. معامل الفقد يقيس قدرة تبديد العينة لهـــذه الطاقـــة. وتســـتخدم كلمـــة الفقد لتوضيح كمية طاقة الميكروويف الداخلة التي تفقد فى العينـــة وتبـــدد فى صـــورة حرارة.

عندما تخترق طاقة الميكروويف مادة فـــإن هـــذه المـــادة ســـوف تمـــتص تلـــك الطاقة بمعدل يعتمد على معامل التبديد لها. يعتـــبر الاختـــراق لانهـــائي فى المـــواد الـــتي تنفذ طاقة الميكروويف، ويعتبر صفر فى المـــواد الـــتي تعكســـها مثـــل المعـــادن. يعتـــبر معامل التبديد كمية محددة للمواد التي تمتص طاقـــة الميكروويـــف. نظـــرا لأن الطاقـــة تمتص وتبدد بسرعة عندما تمر إلى العينة فإنه كلما كان معامـــل التبديـــد كـــبيرا كلمـــا قل عمق اختراق الطاقة عنـــد تـــردد معـــين. يعـــرف عمـــق نصـــف القـــدرة Half-Power Depth بأنه المسافة من سطح العينة التي تـــنخفض عنـــدها كثافـــة القـــدرة إلى نصف قيمتها عند السطح. يتغير عمق نصف القدرة مـــع خـــواص العـــزل للعينـــة وعكسيا تقريبا مع الجذر التربيعي للتردد.

تفقد طاقة الميكروويف فى العينة بآليتين هما: التوصيل الأيونى ودوران ثنائي القطب.

## 1- التوصيل الأيونى Ionic Conduction

التوصيل الأيونى هو عبارة عن الهجرة الانتقالية للأيونات المتحللة بواسطة المجال الكهرومغناطيسى المطبق عليها، وينتج عن تدفق التيار فقد قدرة $I^2R$ (فى صورة حرارة) بسبب مقاومة تدفق الأيونات. كل الأيونات فى المحلول تساهم فى عملية التوصيل، لكن الكسر الذي يحمله نوع معين يحدده تركيزه النسبي وخاصية حركته فى الوسط. إذن يعتمد الفقد نتيجة الهجرة الأيونية على حجم وشحنة وموصلية الأيونات المتحللة وتأثير التفاعل المتبادل بين الأيونات وجزيئات المذيب.

العوامل التي تؤثر على التوصيل الأيونى هي تركيز الأيون وحركته ودرجة حرارة المحلول. كل محلول أيونى سوف يكون له على الأقل صنفين من الأيونات (مثلا أيونات $Cl^-$, $Na^+$) وكل صنف سوف يوصل تيارا تبعا لتركيزه وحركته. وقد أوضحت الدراسات أن الزيادة فى تركيز الأيونات سوف تزيد معامل التبديد. ومساهمة التوصيل الأيونى فى تسخين الميكروويف تظهر فى الزيادة الكبيرة لمعامل التبديد عند إضافة Nacl للماء. ويتغير معامل تبديد المحلول الأيونى مع درجة الحرارة لأن درجة الحرارة تؤثر فى تركيز وحركة الأيونات.

## 2- دوران ثنائي القطب Dipole Rotation

يقصد بدوران ثنائي القطب توجيه (أو تصفيف) (نتيجة المجال الكهربائي) الجزيئات فى العينة التي تمتلك عزم ثنائي قطب دائم أو مستحث. عندما يزداد المجال الكهربائي لطاقة الميكروويف فإنه يوجه الجزيئات المستقطبة فى صفوف. وعندما يقل المجال ترجع الفوضى المستحدثة حراريا. عند إزالة المجال يعيد التهيج الحراري الجزيئات إلى الوضع غير المرتب فى زمن استرخاء t . وتنطلق الطاقة عند 2450 مليون هرتز، تصفيف الجزيئات وما يليه من عودة عدم الترتيب يحدث

$4x10^9$ مرة في الثانية وينتج من ذلك تسخين سريع جـــدا. علـــى أي حـــال، تعتمـــد كفاءة التسخين بدوران ثنائي القطب على خاصـــية زمـــن الاســـترخاء العـــزلي الـــذي يعتمد بدوره على حرارة ولزوجة العينة.

## 4.4 الخواص الكهربائية للمادة الحية

## Electrical Properties of Living Matter

تظهر المادة الحيـــة العديـــد مـــن الخـــواص الكهربائيـــة كمـــا تولـــد مجـــالات كهرومغناطيسية متنوعة صـــغيرة نـــسبيا. يـــستخدم الأطبـــاء الخـــصائص الكهربائيـــة للجسم المعروفة والمعتمدة لتحديد مشاكل الصحة والتـــشخيص. ونـــذكر فيمـــا يلـــي نبذة مختصرة عن الخواص الكهربائية للمادة الحية.

1- تتكون الألياف العصبية من غشاء أســـطواني مـــع مـــائع موصـــل بـــداخل مـــائع موصل آخر وفرق جهد حوالي **0.1** فولط بين المـــائعين. والنبـــضة تجعـــل الغـــشاء بين المائعين أكثر نفاذية للأيونات مؤقتا ويهبط فـــرق الجهـــد. تـــسير النبـــضة **98** قـــدما في الثانيـــــة تقريبـــــا (**30m/s**) أو حـــــوالي **67** مـــــيلاً في الـــــساعة (**108Km/h**).

2 – الطاقة الميكانيكية من انحناء أو إجهاد العظـــام تحـــدث جهـــدا كهربائيـــا ضـــعيفا حوالي عدد قليل من المللى فولط عبر واحد سنتيمتر وتردد ضعيف نسبيا.

3- جهاز رسم القلب الكهربائي **EKGS** يقيس فرق الجهـــد بـــين الـــصدر والظهـــر لدراسة وظائف القلب. قلب الإنسان له أيـــضا مجـــال كهربـــائي بـــالقرب مـــن السطح (سطح القلب) يتراوح بين **10**و**1** فولط لكل متر (**V/m**).

4- جهـــاز رســـم المـــخ الكهربـــائي (**EEGS**) يقـــيس فـــرق الجهـــد، في حـــدود الميكروفولط، في فروة الرأس (جلد الرأس **Scalp**)، وهـــي مقـــاييس لوظـــائف المخ.. ورسم **EEG** (موجات المـــخ) يختلـــف مـــن شـــخص لآخـــر ويتـــشابه للتوائم، ويتشابه لتـــشوهات معينـــة للمـــخ مثـــل الـــصرع **Epilepsy** وأورام

المخ، تلف المخ، التهاب الدماغ أو سرطان الدماغ Encephalitis..إلخ.
عند الراحة بدون نوم، سوف يسجل الجزء الخلفي من الرأس موجات ألفا (إيقاعات ألفا Rhythms Alpha) و ترددها من 8 إلى 12 هرتز.
موجات بيتا من 18 إلى 25 هرتز، ترتبط بالوظائف الحسية وتكون أصغر فى المقدار من موجات ألفا، فى حالة الغيبوبة (Comas) تكون المعدلات من 1 إلى 3 هرتز بالقرب من المساحة التالفة من المخ. موجات بيتا من 4 إلي 7 هرتز تكون طبيعية فى الرضع والأطفال الصغار وليست طبيعية فى الكبار.

## 5.4 تفاعلات المجالات مع الأنظمة البيولوجية

## Interaction of Fields with Biological Systems

مجالات RF الضعيفة لا تكفى لإحداث تسخين لكنها قادرة على حث جهد يتراوح مقداره من 1 إلى 1.5 مللي فولط لكل سم (من 0.10 إلى 0.15 فولط لكل متر) وهذا يساعد على التئام كسور العظام. وقد بينت التجارب أن هشاشة العظام – النقص فى كتلة العظام – يمكن إيقافه أو تعويضه بأشعة RF النبضية، شكل وزمن النبضات مهم للغاية لتسريع التئام العظام والتأثير على هشاشة العظام. وقد بينت الدراسات أن هناك تفاعلات للترددات الراديوية أساسها التأثير الحراري. وكما وضحنا من قبل، مجالات RF تسخن النسيج بتذبذب جزيئاته. المجالات الأضعف يمكن أن تحث تيارات كهربائية فى أو على النسيج، وكلما زادت شدة المجالات كلما أصبحت التيارات المستحثة أضخم. المجالات الكهربائية والمغناطيسية يمكن أن تنتج قوى ضعيفة من نوع قوى لورنتز التي يمكنها التأثير على الجسيمات المشحونة (الأيونات) على المقياس الجزيئي. وقوة لورنتز هي القوة التي تؤثر على الشحنات المشحونة المتحركة نتيجة وجود مجال كهربائي ومغناطيسي ويمكن أن تعزز كيمياء الخلية ضخ الأيونات. وفيما يلي بعض تأثيرات الأشعة الكهرومغناطيسية على الخلايا الحية. ومعظم إن لم يكن كل هذه التأثيرات يعتمد أساسا على التردد والتضمين ومقدار المجال.

1- انقسام جزيئات DNA فى مخ فئران التجارب.

2- الجسيمات العالقة عشوائيا - مثل الكرات الدهنية وبكتريا القولون E تصطف مع بعضها البعض فى اتجاه المجال.

3- الجسيمات غير الكرية (مثل E.Coli) تأخذ خطًا عموديًا أو فى اتجاه المجال الكهربائي اعتمادا على التردد.

4- حركة الجسيمات.

5- موت الخلية من إتلاف الأغشية.

6- انصهار الخلايا.

وقد ارتبطت أشعة RF بالتأثيرات البيوكيميائية، وتأثيرات المناعة، أمراض الزهايمر والباركنسون (فقد الذاكرة، الشلل الرعاش) والسرطان _ والمياه البيضاء(كتاراكت)، أو عتامة عدسة العين والتغيرات السلوكية. الدراسات التي أجريت فى الاتحاد السوفيتي القديم. ذكرت أن بعض الترددات سببت تغيرات سلوكية للإنسان.

## 6.4 التأثيرات البيولوجية - الدراسات والتقارير

يحدث التأثير البيولوجي عندما يمكن قياس تغير فى النظام البيولوجي بعد تعرضه لنوع معين من الطاقة. على أي حال مشاهدة تأثير - فى حد ذاته - لا يعنى وجود خطر بيولوجي. التأثير البيولوجي يمكن أن يمثل خطرا فقط عندما يسبب إتلافا ملحوظا لصحة الفرد أو لنسله أو نتاجه.

التأثيرات البيولوجية التي تنجم عن تسخين الأنسجة بطاقة RF تعرف بالتأثيرات الحرارية. ومن المعروف منذ العديد من السنين أن التعرض لمستويات عالية قد يكون مؤذيا أو خطرا نتيجة لأن هذه الطاقة لديها القدرة على تسخين الأنسجة البيولوجية بسرعة. هذه هي القاعدة التي تطهى بها أفران الميكروويف

الأطعمة، والتعرض لكثافة قدرة عالية من RF مثلا فى حدود $100mw/Cm^2$ أو أكثر يمكن أن تسبب تسخينا واضحا للنسيج البيولوجي وزيادة فى درجة حرارة الجسم. إتلاف أنسجة الإنسان يمكن حدوثه أثناء التعرض لمستويات عالية من RF بسبب عدم قدرة الجسم على تبديد أو التعامل مع الحرارة الزائدة التي يمكن أن تتولد تحت ظروف معينة، التعرض لطاقة RF عند مستويات كثافة طاقة من $10 mw/Cm^2 - 1$ فما أعلى، قد ينتج عنه تسخين للأنسجة البيولوجية يمكن قياسه لكن هذا لا يعنى بالضرورة أنه سوف يسبب إتلافا للأنسجة. يعتمد مقدار التسخين على العوامل التالية:

1- تردد الأشعة

2- حجم وشكل ووضع الجسم المعرض

3- فترة التعرض

4- ظروف البيئة

5- قدرة أو فاعلية تبديد الطاقة

من المعروف جيدا أن العيون والخصية هي أكثر الأجزاء فى جسم الإنسان تضررا بسبب نقص تدفق الدم النسبي لتبديد الحرارة الزائدة، نظرا لأن دورة الدم تعتبر من أعظم آليات الجسم للتعامل مع الحرارة الزائدة. التجارب المعملية قد بينت أن التعرض لفترات قصيرة ( من 30 دقيقة إلى 60 دقيقة) لمستويات عالية من أشعة RF (من 100 إلى 200 مللى واط/سم2) يمكن أن يسبب مياه بيضاء (كتاراكت) للأرانب. العقم المؤقت، الناتج عن هذه التأثيرات مثل التغيرات فى عدد وإمكانية حركة الحيوانات المنوية، يكون ممكنا بعد تعرض الخصية إلى مستويات عالية من أشعة RF أو لأي أشعة تسبب زيادة فى الحرارة.

وقد أثبتت الأبحاث أن مستويات طاقة RF التي يتعرض لها عامة الجمهور من البيئة المحيطة تكون أقل بكثير جدا عن المستويات التي تسبب تسخينا أو زيادة فى درجة حرارة الجسم. على أي حال، يمكن أن يكون هناك حالات على وجه

الخصوص،مثل بيئة أماكن العمل بالقرب من مصدر RF ذي قدرة عالية عن الحدود المسموح بها للتعرض الآمن للإنسان. فى هذه الحالة يجب قياس مستويات طاقة RF لضمان الأمان.

بل إضافة إلى الشدة، يمثل التردد عاملا مهما جدا فى تحديد كمية الطاقة الممتصة ومن ثم مقدار الضرر.

تخترق مجالات RF الجسم إلى مدى معين يقل مع زيادة التردد. ولكي نفهم التأثيرات التي تسببها للأنسجة البيولوجية، يتحتم تحديد مقدار المجالات داخل الأجزاء المختلفة من الجسم التي تتعرض لهذه المجالات. هذا يتطلب معرفة الخواص الكهربائية للأنواع المختلفة من النسيج، وبمجرد تحديد ذلك، يكون من الممكن حساب E & B الناتجين عن مصدر معين من الأشعة (مثل التليفون المحمول) عند كل جزء من الجسم. معدل امتصاص كتلة معينة m من النسيج للأشعة هو $m\sigma E^2/\rho$ حيث $\rho$ و $\sigma$ هما الموصلية وكثافة النسيج على التوالي و E هي المجال الكهربائي. يطلق على $\sigma E^2/\rho$ معدل الامتصاص النوعي للطاقة أو SAR، تقاس بالواط لكل كيلوجرام W/Kg، وتتغير من نقطة إلى أخرى فى الجسم لأن المجال الكهربائي يتغير مع المكان ولأن الموصلية تختلف حسب نوع النسيج. الكثافة تكون نفس الشيء للأنسجة البعيدة عن العظام حيث إن القيم المتوسطة للموصلية عند 900 MHz وكثافة نسيج الجسم هما 1S/m و0.001 $Kg/m^3$ على التوالي، القيمة الاعتيادية للمجال الكهربائي المطلوب لإنتاج SAR قيمته 1w/kg تكون حوالي 30V/m . (القيمة المتوسطة للموصلية تكون أعلى إلى حد ما عند 1800 MHz لذلك مجالات كهربائية أقل بحوالي 25V/m تكون مطلوبة). SAR الناتجة عن قيمة معينة من المجال الكهربائي تكون أكبر إلى حد ما فى الأطفال عن الكبار لأن أنسجتهم تحتوى عادة على عدد أكبر من الأيونات ولذلك يكون لديهم موصلية أعلى. من المهم أن نركز على أن هذه هي المجالات الكهربائية داخل الجسم. المجالات خارج الجسم والتي تقابل هذه المجالات الداخلية عادة تكون أكبر ثلاث مرات. لقد استقر الرأى على أن الأشعة الكهرومغناطيسية

يمكن أن تمتص بكميات محددة فقط من الطاقة " hυ " (h ثابت بلانك). ولأن الطاقة المطلوبة لإزالة إلكترون من ذرة أو جزيء (تأين) تساوى عددا قليلا من الإلكترون فولط (ev) { إلكترون فولط هو الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون شحنته e من لوح موصل بالأرض إلى لوح أخر تحت جهد سالب قدره واحد فولط. لذلك إذا كانت كمية الطاقة أقل من حوالي واحد إلكترون فولط يكون من غير الممكن حدوث تأين }. طاقة كم الأشعة الراديوية RF تقل، ف الواقع، آلاف المرات عن واحد إلكترون فولط، لذلك أشعة RF لا يمكنها تأيين الذرات أو الجزيئات وتصنف على ألها أشعة غير مؤينة (NIR). على أي حال، الأشعة ذات الترددات الأعلى مثل الأشعة فوق البنفسجية البعيدة وأشعة X عندها طاقة كم أكبر من واحد إلكترون فولط، لذا يمكنها بسهولة تأيين الذرات والجزيئات، وتسبب بعض الإتلاف للأنسجة البيولوجية و الجزيئات البيولوجية مثل DNA حتى لو كانت عند شدات منخفضة جدا. يطلق على هذه الأشعة، الأشعة المؤينة. ويعتقد أن الأشعة الكهرومغناطيسية غير المؤينة، غير ضارة عند الشدات المنخفضة جدا، بالرغم من ألها يمكن أن تتلف عند الشدات العالية. على سبيل المثال، الضوء عند شدات معتدلة يحدث تغيرات بيولوجية مهمة تسمح لنا برؤية الأشياء المضيئة. على أي حال، إذا أصبحت شدة الضوء عالية جدا يمكن أن تتلف العين بشدة. الشدة العالية جدا من أشعة RF يمكن أن تتلف ويتضح ذلك من تأثيرات التسخين القوية ف أفران الميكروويف. لذلك نحتاج إلى معرفة عند أي شدة تبدأ الأشعة ف إحداث إتلاف. وهذا، عادة يتوقع أن يكون أعلى من أقل شدة يمكن عندها اكتشاف التأثيرات البيولوجية.

ونذكر فيما يلي بعض مصادر الترددات الراداياوية التي يتعرض لها الجمهور– ومستويات التعرض.

## 7.4 مصادر الترددات الراديوية التى يتعرض لها الجمهور

### 1- الرادار

رادار المرور بالموجات الميكرونية قد ارتبط بالتأثيرات الصحية الضارة لعدد من رجال مكاتب الشرطة الذين يستخدمون رادارات المرور (أشعة ذات مستويات منخفضة من الميكروويف) لفترات طويلة (عدد من الساعات لعدة سنوات). حتى الوقت الراهن لم تستطع الجمعيات العلمية الوصول إلى الآلية التي تربط رادار المرور بالتأثيرات الصحية الضارة (هذا لا يعني أنه لا يوجد). كما أن البيانات عن علاقة رادار المرور بالصحة مازالت نادرة.

القوات الجوية الأمريكية **US Air Force** أشرفت على دراسة على الفئران المعرضة لنبضات الموجات الميكرونية عند **24.5GHz**. من المعروف أن رادار المرور نطاق **K** يعمل عند حوالي **24.250GHz – 24.025** ( أي أقل بمقدار **250M Hz – 475**) واستخدمت الدراسة أيضا الموجات الميكرونية النبضية علما بأن رادار المرور غير نبضي (مستمر). بينت الدراسة زيادة واضحة فى الأورام السرطانية ولاحظت تأثيرات فى الغدة الكظرية ونظام الغدد الصماء. اقترح هذا الفحص طبقا لتوصيات كل من المعهد الأمريكي الوطني للمعايرة **ANST** و معهد الهندسة الكهربائية والإلكترونية **IEEE** أن أقصى تعرض مسموح للإنسان منخفض جدا، حدود تعرض الإنسان يجب أن تكون فى ظروف اضطرارية.

وقد نشرت لندن تايم فى ديسمبر **1998** أن الدكتور هنري **Henery Lar**، الخبير فى الإشعاع غير المؤين أعلن أن أشعة الموجات الميكرونية ذات المستوى المنخفض تقسم جزيئات **DNA** (هو **DeoxyribonucleicAcid**، معقد، فى العادة مركب كيميائي لولبي الشكل وهو المادة التي تكون المادة العضوية للجينات والكروموزومات). انقسام جزيئات **DNA** فى المخ يرتبط بالزهايمر **Alzheimer** وأمراض الشلل الرعاش **Parkinson** والسرطان .

العديد من الدراسات عن التأثيرات الصحية والتعرض للمجالات الكهرومغناطيسية التي أجريت منذ 1948م قد توصلت إلى مناقشات مختلفة ومتعارضة، الكثير من البحوث الأولى ركزت على تأثيرات التسخين الحراري للإشعاع الكهرومغناطيسى وبينت بعض الدراسات التي تلت ذلك أن التفاعلات الناتجة عن التعرض EMF لم تفسر على أساس التسخين الحراري. الخبراء أو المتخصصون مازالوا غير متفقين دائما على مستويات وأنواع المجالات الكهرومغناطيسية التي تؤثر على الصحة .

## 2- أفران الميكروويف Microwave Ovens

من المعروف جيدا أن الطاقة الكهرومغناطيسية تسبب تسخينا حراريا للأنسجة الحية. أفران الموجات الميكرونية (الميكروويف) تستخدم الطاقة الكهرومغناطيسية لتسخين وطهى الأطعمة. تستخدم أفران الميكروويف(Raytheon1947) متذبذبات المجنترون Magnetron Oscillators (مولدات الميكروويف) (أنبوبة إرسال الرادار \ فجوة) التي تعمل عند 2.45GHz. (بعض الأنظمة التي ظهرت فى التسعينات 1990's ترسل عند 5.8GHz. وتكون كمية التسخين دالة للقدرة المنقولة ودورة التشغيل (الزمن). الطاقة الاعتيادية من أنظمة الميكروويف تكون فى حدود من 600 – 700 واط. هكذا فى حدود 5 دقائق يصل تجويف الفرن 43000 سعر تقريبا لتسخين الجسم فى داخله. أقصى تسريب مسموح من أفران الميكروويف – طبقا لتوصيات الهيئات الدولية المعنية بذلك – هو 5 مللي واط (أو 5 من الألف من الواط) لكل سنتيمتر مربع (فى حدود مساحة سطح قرص أسبرين) عندما تقاس على بعد بوصتين (5سم) من سطح الفرن. على أي حال، كلما ابتعدنا عن الفرن يقل مستوى التعرض لأي طاقة مسربة من الفرن.

حتى الآن سيظل السؤال: هل التعرض للمستويات المنخفضة من أشعة الميكروويف يمثل خطرا على الإنسان؟. الأبحاث السوفيتية أعطت بعض التقارير،

وقد ركز علماء U.S.S.R على التعرض لمستويات مختلفة من الميكروويف لفترات طويلة أو التعرض المتكرر. وأظهرت نتائجهم أن التعرض لمستويات منخفضة من طاقة الميكروويف لفترة طويلة ينتج عنه تأثيرات غير سارة ليس سببها الوحيد التأثير الحراري. لذا وضعت U.S.S.R وبعض الدول الأوروبية الأخرى إرشادات دقيقة خاصة بهم لضمان الأمان من الميكروويف، فمثلا، يضطر العاملون الروس إلى ارتداء عوينات خاصة Goggles (لوقاية العين) عند أي وقت يتعرضون فيه مؤقتا لمستوى واحد مللي واط لكل سنتيمتر مربع من أشعة الميكروويف، نتذكر أن المعيار الأمريكي هو 5 مللي واط لكل سنتيمتر مربع.

وينبغي على الذين يتعرضون لفترات متكررة لمستوى منخفض من أشعة الميكروويف مراعاة الاحتياطات التالية:

1- الابتعاد حوالي طول ذراع عن الفرن أثناء تشغيله.

2- عدم تشغيل الفرن وهو فارغ.

3- عدم تشغيل الجهاز وهو غير مغلق جيدا أو عندما يكون به تلف.

4- ممنوع العبث فى مفتاح الأمان.

الكميات الكبيرة من الميكروويف يمكن أن تستخدم لتسخين الأجسام. يستخدم فرن الميكروويف مستوى طاقة معين يتفاعل مع جزيئات الماء. جزيئات الماء تمتص هذه الطاقة وتتذبذب - وتتولد الحرارة التي تسخن جزيئات الماء والجزيئات المجاورة لها. وحيث إن الطعام يحتوى الماء فإنه سوف يسخن بينما الأواني المصنوعة من مواد لا تحتوى الماء لا تسخن. فرن الميكروويف معتم للميكروويف، لكن النافذة الزجاجية منفذة للضوء المرئي لذلك فأنت تستطيع أن ترى طعامك دون أن يتسرب الميكروويف.

### لماذا نرى إشارات تقول انتبه فرن الميكروويف يعمل؟.

فرن الميكروويف يمكن أن يبعث كميات صغيرة من طاقة الراديو التي

تستطيع التداخل مع المنظم الصناعي. هـذه الإشـارات هـي تحـذير للنـاس الـذين يستخدمون منظم نبضات القلب. بالمثل المستشـفيات تسـألك لا تسـتخدم التليفـون المحمول فى المستشفى لتفادى احتمال تداخل الميكروويف مع الأجهزة الطبية.

## السؤال الآن هو: ما هي مستويات الأمان للتعرض؟

فى الواقع، لا أحد يعرف بالتأكيد. العديد مـن المعامـل الأمريكيـة وجـدوا أن المستويات المنخفضة من التعرض للميكروويف يمكـن أن تسـبب تـأثيرات تراكميـة على العيون ينتج عنها مياه بيضاء (عتامة العدسة). والأبحـاث سـجلت أيضـا نقصـا فى كفاءة الأفراد، وصلة محتملة بالسرطان. قد اتفـق البـاحثون علـى أنـه لا يوجـد تأثير حراري من الميكروويف التي يتعرض لها كثير من الناس علـى المسـتوى اليـومي. والسؤال ما هي درجة الخطر الذي يمثله هذا التأثير غـير الحـراري؟. للإجابـة علـى هذا السؤال يجب أن نتعامل مع الاختلاف الجـدلي بـين التـأثير البيولـوجي البسـيط والخطر البيولوجي الشديد. فمثلا النقص فى القدرة على عمل معين قـد يكـون سـببه التأثير ولكن عند أي حد يكون هذا التأثير خطيرا.

تأثيرات التعرض لمستويات منخفضة من الميكروويـف لمـدة طويلـة وعلاقتـها بصحة الإنسان سوف تتضح فقط بعد تعرض عدد كـبير مـن النـاس للميكروويـف مع استمرار الدراسات لسنوات عديدة. من ناحيـة أخـرى، تـتم الدراسـات علـى الحيوانات ولكن من الصـعب ترجمـة تـأثيرات الميكروويـف علـى الحيوانـات إلى التأثيرات المحتملة على الإنسـان، ولكـن الخـبراء ينصـحون بعـدم التعـرض غـير المطلوب للأشعة، مهما كان نوعها.

يتكون فرن الميكروويف من:

1- دائرة تحكم الجنترون

2- مجنترون

3- موجه الموجة

**4– غرفة الطهي**

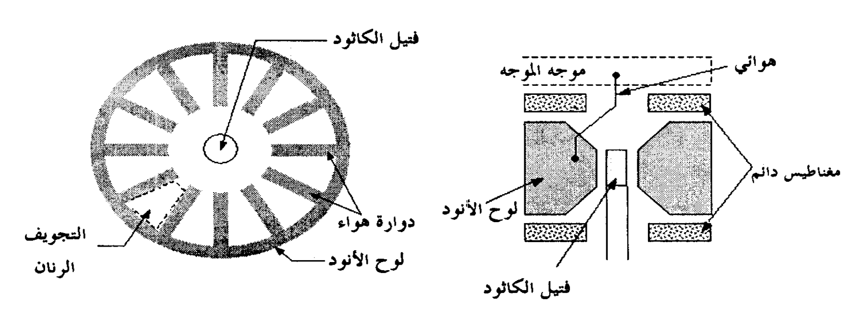
يعمل الفرن بتمرير أشعة الميكروويف، عادة عند تردد 2450 مليون دورة فى الثانية (2450MHz)، خلال الطعام. تمتص جزيئات الماء فى الطعام الطاقة من حزمة الميكروويف فى عملية يطلق عليها تسخين العزل الكهربائى. كل جزيء ماء يمثل ثنائي قطب بمعنى أنه يمتلك شحنة موجبة عند إحدى نهايتيه وشحنة سالبة عند النهاية الأخرى، لذلك فإنه يلتوي إلى الأمام والخلف عندما يحاول توجيه نفسه مع المجال الكهربائي المتردد الناتج عن حزمة الميكروويف. ينشأ عن هذه الحركة الجزيئية حرارة. يفسر التسخين بالميكروويف أحيانا بطريقة خاطئة على أساس أنه رنين Resonance لجزيئات الماء، إلا أن هذا يحدث فقط عند عشرات الجيجا هرتز أي عند ترددات عالية جدا.

غرفة الطهي محكمة الغلق لمنع تسرب الميكروويف إلى الجو المحيط به. باب الفرن يصنع عادة من الزجاج وله طبقة من شبكة عيون موصلة Conductive Mesh تحافظ على التدريع. وحيث إن عرض العيون أقل كثيرا من الطول الموجي 12 سنتيمتر، لا تستطيع أشعة الميكروويف المرور من الباب، بينما يستطيع الضوء ذو الطول الموجي الأقصر المرور من هذا الباب.

الطهي بالميكروويف سريع ومألوف، لكن توجد له مخاطر، لأن الطعام يسخن فى زمن وجيز جدا ويكون الطهي غير متساو. تستخدم أفران الميكروويف فى الغالب لإعادة تسخين الطعام السابق طهيه وقد لا تقتل إعادة التسخين الملوثات البكترية، وينتج عن ذلك تسمم الطعام. وينتج التسخين غير المتساوي جزئيا، بسبب التوزيع غير المتساوي لطاقة الميكروويف داخل الفرن، وجزئيا، بسبب تفاوت معدلات امتصاص الطاقة، فى الأجزاء المختلفة من الطعام. أمكن اختزال المشكلة الأولى باستخدام هزاز (Stirrer)، نوع من المراوح التي تعكس طاقة الميكروويف إلى الأجزاء المختلفة من الفرن عندما تدور. والمشكلة الثانية يقوم بحلها الطاهي الذي ينبغي عليه أن يغير وضع الطعام من وقت لآخر ويجنب الأجزاء التي تم طهيها.

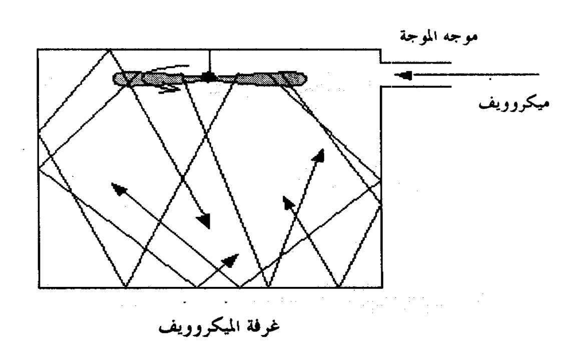
والشكل(9) يبين المكونـــات المختلفـــة لفـــرن الميكروويـــف. يولـــد المجنتـــرون الأشعة التي تنتشر تحت موجه الموجة وتتوجه مباشرة إلى تجويف الفـــرن حيـــث يـــوزع نظام الهزاز الطاقة القادمة فى الاتجاهات المختلفة. وكمـــا ذكرنـــا ســـابقا فـــإن الطاقـــة الممتصة تعتمد على حجم العينة ومعامل التبديد.

يتكون المجنترون من دايود(وصلة ثنائيـــة) أســـطواني يتكـــون مـــن فوتوكـــاثود. يوجد فوق الدايود مجال مغناطيسي موجه مع الكاثود.




الجنترون

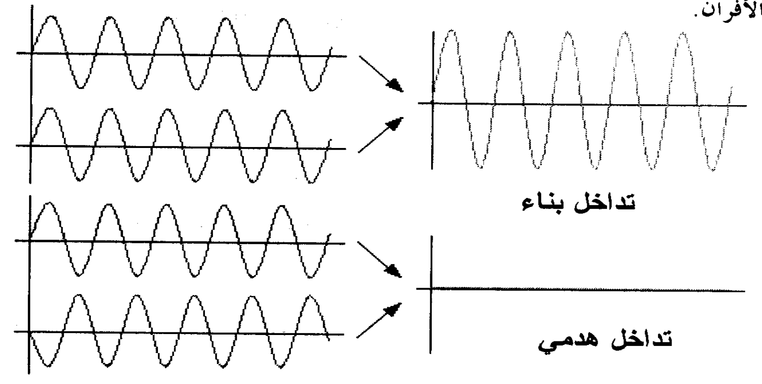
منظر جانبي للمجنترون




شكل (9) يوضح فرن الميكروويف

كما ذكرنا فإن الميكروويف يسخن الطعام بسبب اهتزاز جزيئات الماء ونعلم أيضا أن معظم الأطعمة التى نستهلكها تحتوى على حوالي 70% من وزنها ماء وهذا يجعل الميكروويف وسيلة فاعلة فى تسخين الطعام. ونشير هنا إلى أن الجانب السلبي لهذه الطريقة أن الأطعمة ذات المحتوى المائي المنخفض تأخذ وقتا أطول حتى تسخن فى فرن الميكروويف. والأكثر من ذلك أن الأطعمة المجمدة تستغرق وقتا أطول حتى تسخن وذلك لأن جزيئات الماء هنا لا تتحرك بنفس المعدل الذي تتحرك به فى السائل. عند استخدام الميكروويف، لا ترتفع درجة حرارة الطعام المسخن أعلى من نقطة غليان الماء 100°C، وهذا هو السبب فى أن الطعام لا يكتسب اللون البني.

تعتبر البقع الساخنة من أحد العيوب الكبرى للتسخين بالميكروويف. نظرا لأن أشعة الميكروويف تنعكس حول غرفة الطهي، فإنها تتفاعل مع أشعة أخرى منعكسة بطريقة ما بحيث تتكون بقع باردة وأخرى ساخنة داخل الميكروويف. والظاهرة المسئولة عن حدوث ذلك هي تداخل الموجات، فعندما تقوى القمم بعضها بعضا فى تداخل بناء لتكون بقع ساخنة أما إذا كان تداخل الموجات هدميا فإن ذلك يتسبب فى تكون البقع الباردة (شكل10). التسخين غير المتساوي الناتج عن هذه الظاهرة يمكن تفاديه باستعمال دوارة مثل التي توجد فى الطراز الجديد من الأفران.




شكل(10) يبين التداخل البناء والهدمي داخل أفران الميكروويف.

## إرشادات على استخدام أفران الميكروويف

يتكون الميكروويف فى أفران الميكروويف من مجال كهربائي وآخر مغناطيسي. وبما أن المجال الكهربائي يدفع الشحنات الكهربائية، لذلك يجعل الميكروويف التيار الكهربائي يسرى خلال الأشياء المعدنية التي تقابلها. التيار لا يسبب، بالضرورة أي مشكلة فى أفران الميكروويف. فى الواقع الأشياء المعدنية تسبب مشاكل فى أفران الميكروويف فقط إذا كانت رقيقة جدا أو حادة بحيث إنها لا تسمح للتيار الكهربائي بالمرور خلالها أو عندما تكون ذات نهايات حادة بحيث إن الشحنات الكهربائية تنطلق منها كشرارة. لكن الأشياء السميكة ذات النهايات المستديرة يمكنها تمرير التيار خلالها بسهولة ولا تمتلك نهايات حادة تمكنها من إرسال شحنات فى الهواء على هيئة شرارة فهي لا تشكل أي مشكلة لأفران الميكروويف.

- الأفران العادية تسخن الأطعمة بتعرضها إلى الهواء الساخن مما يجعل سطح الطعام جافا ومقرمشا لأنها تسخن أسطحه الخارجية وتدفع الماء إلى الخروج بعيدا عن السطح. فرن الميكروويف يسخن الطعام بتسخين محتواه المائي ويطهى الطعام من الداخل إلى الخارج، الميكروويف يحرك الماء من داخل الطعام إلى الطبقة الخارجية منه. الطبقة الخارجية على وجه الخصوص تصبح مشبعة بالبخار مما يجعل جميع المواد المطهية مشبعة بالماء.

- إذا كان فرن الميكروويف لا يسرب الميكروويف، إذن لا يؤثر على هؤلاء الأشخاص الذين لايستخدمونه بتاتا. بينما إذا كانت الميكروويف تتسرب من فرن الميكروويف فى موضع معين فإنها سوف تحدث تيارا غير مرغوب فيه يتدفق فى الوصلات الكهربائية فى منظم دقات القلب. هذا بسبب أن الميكروويف تتألف من مجال كهربائي وآخر مغناطيسي، والمجال الكهربائي يؤثر بقوة على الجزيئات المشحونة. وتؤدى إلى إحساس مستخدم منظم دقات القلب بالسخونة حينما يكون فرن الميكروويف يعمل.

- لا يوجد زمن قياسي يجب أن يمر قبل تناول الطعام المسخن بفرن الميكروويف. فيماعدا الاحتياطات الواجب أخذها فى الاعتبار نحو أي نوع من الطعام الساخن، لا يوجد شيء غير آمن بالنسبة للأطعمة المطهية فى فرن الميكروويف. يمكن أن نتناول الطعام بمجرد توقف فرن الميكروويف. الميكروويف تمتص بسرعة وتتلاشى بمجرد توقف الفرن. بعد فتح باب الفرن، لن يوجد أي شيء خطر داخل غرفة الطهي أو فى الطعام.

- يجب أن تكون حذرا عند رج الطعام أو عند اختبار درجة حرارته فى أماكن-- مختلفة منه حتى لا تتعرض للحروق. يجب أن تكون حذرا فى حالة الأطعمة الصلبة المحشوة بمواد رطبة فمثلا فى حالة البسكويت المحشو بالزبيب يكون البسكويت جافا والزبيب رطبا وسوف يمتص الزبيب طاقة الميكروويف ويصبح ساخنا وإذا لم تتركه فترة كافية حتى يبرد فإنه يكون شديد الضرر عند البلع.

- هل الطهي بالميكروويف يؤثر على القيمة الغذائية للطعام؟. التسخين الزائد لبعض الأغذية يمكن أن يتلفها، لذلك فإن الطهي بالميكروويف يؤثر على القيمة الغذائية، لكن بقدر أقل من الطهي بالطرق العادية.

- هل يمكن وضع ترمومتر فى فرن الميكروويف؟ وهل الميكروويف لها تأثير على الترمومتر الإلكتروني؟

- بدلا من قياس" درجة حرارة فرن الميكروويف" الناس عادة يضعون الترمومترات فى الأطعمة لقياس درجة حرارة الطعام. هذه تعمل جيدا طالما أن الترمومترات لا تتفاعل مع الميكروويف بالطرق التي تجعلها إما أسخن أو غير دقيقة . الترمومترات الإلكترونية شائعة فى النهاية العالية للميكروويف. هذه الترمومترات محمية جيدا بحيث إن الميكروويف لا تسخنها أو تؤثر على قراءها. أي أن لديها أعمدة معدنية تعكس الميكروويف، وبذلك لا تسخن بالميكروويف ونقيس فقط درجة حرارة الطعام الذي يلامسها.

- هل أفران الميكروويف تسرب الميكروويف؟. أفران الميكروويف المصممة جيدا تسرب طاقة صغيرة من الميكروويف لا تقلق، ويوجد معايير للتسرب [يمكنك استخدامها فى المنزل]كما نصحت به المنظمة الدولية للميكروويف (IMPI) و(FDA).
- لا تشغل فرن الميكروويف وهو مفتوح، الفرن سوف يبعث ما بين 500-1100 واط من الميكروويف، وأنت لا تحتاج إلى التعرض لهذا الكم الكثيف من الميكروويف.
- غرفة طهي الميكروويف لديها شبكة من الثقوب تسمح للهواء بالدخول والخروج. الثقوب فى الشبكة المعدنية صغيرة بالقدر الكافي بحيث إن الميكروويف نفسها لا يمكنها المرور خلالها وبدلا من ذلك سوف تنعكس خلفا فى غرفة الطهي ، بينما هذه الثقوب كبيرة بالقدر الذي يكفى لمرور الهواء بيسر وسهولة إلى غرفة الفرن ، فى حالة الفرن العادي تتسرب رائحة الطعام إلى المطبخ .
- المعادن التى تترك فى أفران الميكروويف أثناء الطهى سوف تحدث اضطرابات إذا.

أ- كانت رقيقة جدا

ب- إذا كان لها أطراف حادة أو نقطية.

الميكروويف سوف ترد الشحنات الكهربائية خلفا وتضغط على المعدن، إذا كان المعدن لديه طرف حاد أو نقطي، الشحنات سوف تتراكم على هذه النقط الحادة وتنطلق فى الفضاء كشرارة. لكن لأن ملعقتك سميكة وحوافها مستديرة الشحنات التي تتراكم عليها أثناء الطهي لا يكون لها أي تأثير سيىء.

## 3- التليفون المحمول The mobile Phone

فى السنوات العشر الأخيرة من القرن العشرين زاد الإقبال فى جميع دول

العالم على استخدام أجهزة الاتصالات اللاسلكية وعلى وجه الخصوص التليفون المحمول زيادة ملحوظة. وصاحب هذا الطلب المتزايد على أجهزة الاتصالات اللاسلكية تركيب شبكة من قواعد المحطات عبر المدن لإرسال واستقبال إشارات الاتصالات. وقد أدى ذلك إلى زيادة اهتمام الناس لمعرفة التأثيرات الصحية التي قد تنجم عن استعمال التليفونات الخلوية وأجهزة الاتصالات الأخرى فى المسكن أو فى العمل أو حتى أثناء الذهاب إلى المدرسة بالقرب من قواعد محطات الاتصالات.

تعمل أجهزة الاتصالات اللاسلكية من خلال استعمال مجالات الترددات الراديوية. وبينما تمثل الأجهزة مثل التليفون الخلوي تقنية جديدة متطورة، إلا أن مجالات الترددات الراديوية **RF** توجد فى بيوتنا منذ زمن بعيد. راديو **AM**, **FM** والموجات القصيرة تستخدم موجات الترددات الراديوية لنقل الإشارات كما يحدث فى التليفزيون والرادار. بالرغم أن شدة مجالات الترددات الراديوية المستخدمة فى أغراض الاتصالات منخفضة جدا إلا أن لها مخاطرها عند مستويات التعرض العالية جدا. فمثلا تسخين الأطعمة فى أفران الميكروويف التي تستخدم طاقة الترددات الراديوية **RF** تبرهن على فاعلية المستويات العالية من التعرض فى إحداث تغيرات مهمة فى المواد البيولوجية نتيجة التسخين.

تشير الدراسات العلمية التي تمت إلى أن التعرض لمستويات ذات شدة منخفضة من مجالات **RF** غير الحرارية لا تضر بصحة الإنسان أو الحيوان. على أي حال، الدراسات التي تمت فى هذا المجال والنتائج التي تم الحصول عليها ليست كاملة ولا تكفى لاستخلاص قاعدة تؤكد احتمال أن هذه التأثيرات البيولوجية غير الحرارية قد تؤدى إلى تأثيرات ضارة بالصحة. بالإضافة إلى ذلك، يكون من الصعب، دون فهم كيف تسبب مجالات **RF** المنخفضة هذه التأثيرات البيولوجية وضع حدود أمان للتعرضات غير الحرارية.

مجالات **RF** المنبعثة من قواعد محطات الاتصالات اللاسلكية والتي يتعرض لها العامة تكون ذات طاقة منخفضة إلى حد لا يجعلها تسبب تأثيرات بيولوجية أو

تأثيرات ضارة بالصحة. من المحتمل أن العاملين فى مجــال الاتصــالات اللاســلكية بمــا فى ذلك التليفون الخلوي يتعرضون إلى طاقات كافيــة لإحــداث تــأثيرات بيولوجيــة بالرغم أنه ليس من المعروف أن هذه التأثيرات البيولوجية تكون ضارة بالصحة.

قد عبر بعض الناس عن اهتمامهم لمعرفــة مــا إذا كــان التعــرض للتــرددات الراديوية من أجهزة الاتصالات يزيد من مخاطر السرطان أم لا.

الدراسات المتاحة حاليا ليست متفقة تمامــا فى اســتنتاجاتها. مســتوى الــدلائل ونتائج الدراسات حتى اليوم لا تــدعم الاســتنتاج الــذى يــنص علــى أن التعــرض لمجالات RF من نوع وشدة مجالات أجهــزة الاتصــالات تســاهم فى تطــوير الأورام. بالرغم أن بعض الفحوصات قد افترضــت أن مجــالات RF قــد تتلــف DNA، إلا أن معظم نتائج الدراسات التي تمت فى كندا حتى الآن كانت سلبية.

الدراسات الطبية على تأثير مجالات RF على وظائف المــخ والصــحة العصــبية للإنسان والتي اهتمت بنوبات الصــرع واضــطرابات النــوم قــد فشــلت أيضــا فى إظهار التأثيرات الصحية الضارة. حتى اليــوم الدراســات الــتي تمــت علــى صــحة الإنسان والتي اختبرت العلاقة بــين التعــرض لمجــالات التــردد الراديــوى وأنــواع السرطان المختلفة، مشاكل التناسل، العيــوب الخلقيــة، الصــرع، الصــداع وأيضــا الانتحار لم تعطِ دلالات قاطعة على وجود تــأثيرات صــحية ضــارة نتيجــة التعــرض لمجالات RF.

بعض شرائح السكان مثل الأطفال والنســاء والحوامــل والمتقــدمين فى الســن تكون أكثر عرضة أو أكثر تأثرا بالأخطار الصحية البيئيــة المختلفــة. هــذه الشــريحة من السكان لم تجر عليها سوى عدد قليل من الدراســات بالنســبة للتعــرض لمجــالات RF. هذه الدراسات التي أجريــت لم تكــن – علــى وجــه الخصــوص – دقيقــة فى تصميماتها.

**والسؤال الآن هو: لماذا لا تسبب التليفونات الخلوية أو الميكروويف السرطان؟.**

التليفونات الخلوية وأفران الميكروويف كليهما يستخدم الأشعة الكهرومغناطيسية. السبب الأول فى تخوف الناس هو استمرار الاعتقاد بأن الإشعاع هو المسبب للسرطان والخوف كله من مصطلح الإشعاع. والإشعاع لا يشمل فقط الأشعة النووية ذات الطاقة العالية بل يشمل أيضا الضوء المرئي الذي نرى به كل شيء من حولنا.

التليفون المحمول عبارة عن راديو منخفض القدرة يرسل ويستقبل أشعة الميكروويف عند ترددات حوالي 1800&800MHz وتشمل أنظمة الراديو الخلوية الاتصالات بين التليفون المحمول ومحطات قاعدة ثابتة. كل قاعدة محطة تغطى منطقة معينة تدعى الخلية. وتهتم الهيئات الدولية بوضع ضوابط أمان لمنع حدوث أي أضرار صحية تنجم عن تعرض الجسم بالكامل أو أي جزء منه لموجات الراديو. يمتص الجسم بعض من طاقة RF الإشعاعية، ويكون أقصى امتصاص لها عند سطح الأنسجة المحتوية على القدر الأكبر من الماء، فى الرأس أو اليد. لذلك يعبر عن التأثيرات الناتجة عن التعرض للتليفون المحمول بدلالة الطاقة الممتصة بكتلة صغيرة من نسيج الرأس. من الناحية العملية، الخارج من استعمال التليفون المحمول، يتسبب فى ترسيب كمية من الطاقة فى نسيج الرأس ومن ثم ارتفاع فى درجة الحرارة. فى المواقع التي يتعرض فيها جمهور الناس لمجالات هوائي- قاعدة محطات المحمول، من المحتمل أن يكون التعرض متجانسا على جميع أجزاء الجسم.

الموجات الراديوية التي ترسلها هوائيات قواعد محطات المحمول ضعيفة إلى حد كبير، وعلى هذا الأساس تكون التأثيرات ذات أهمية كبيرة على الأفراد الذين يكونون على بعد عدة أمتار فقط من الهوائي.

المخاوف من احتمال حدوث تأثيرات غير حرارية تنتج عن التعرض للأشعة

الكهرومغناطيسية للتليفون المحمول قد ازدادت إلى حد كبير. هذه تشمل اقتراحات بتأثيرات خبيثة على الأنسجة القابلة للإثارة الكهربائية والتي قد تؤثر على وظائف المخ والجهاز العصبي.

الموجات الراديوية لا تمتلك طاقة كافية لإتلاف المادة الجينية (DNA) مباشرة ومن ثم لا تستطيع إحداث سرطان. توجد اقتراحات بأنها قد تكون قادرة على زيادة معدل تطور السرطان. علاوة على ذلك، الدليل من الدراسات التي تمت على التأثيرات المحتملة على تطوير أورام خبيثة فى حيوانات التجارب ليست مقنعة. نقص الأدلة لا يؤكد عدم وجود مخاطر.

مازال هناك أيضا هاجس حول ما إذا كان يوجد تأثيرات على وظائف المخ مع تأكيد خاص على الصداع وفقد الذاكرة. ومازالت هناك بعض الدراسات تجرى لدراسة هذا الاحتمال.

عدة اعتبارات مهمة يجب أن نتذكرها عند تقييم التأثيرات الصحية المحتملة. أهمها تردد التشغيل، أنظمة التليفونات المحمولة الحالية تعمل كما ذكرنا من قبل بين 800 ,1800مليون هرتز.

كما ذكرنا، التليفون المحمول يعتبر جهاز إرسال منخفض القدرة، أقصى قدرة يبعثها تتراوح بين 0.2 إلى 0.6 واط. وترسل قواعد المحطات قدرة تتراوح بين بضع إلى مائة واط أو أكثر قليلا اعتمادا على حجم و منطقة الخلية. وهوائيات قواعد المحطات يكون عرضها عادة من 20 إلى 30 سنتيمترا وطولها مترا واحدا. ومرفوعة على مباني أو أبراج على ارتفاع من 15 إلى 50 مترا فوق الأرض. تبعث الهوائيات حزم RF، التي تكون عادة ضيقة جدا فى الاتجاه الرأسي لكنها تكون عريضة فى الاتجاه الأفقي. وبسبب الانتشار الرأسي الضيق للحزمة تكون شدة مجال RF عند الأرض أسفل الهوائيات مباشرة ضعيفة. تزداد شدة مجال RF قليلا كلما تحرك الشخص بعيدا عن قاعدة المحطة ، بعدئذ تقل عند المسافات البعيدة عن الهوائي.

قواعد محطات التليفون المحمول هي مجموعة من الراديو منخفضة القدرة متعددة القنوات مزدوجة الاتجاه. التليفون المحمول راديو منخفض القدرة قناة واحدة مزدوجة الاتجاه. عندما نتحدث فى هذا التليفون فإننا نتحدث إلى قاعدة محطة قريبة منا. من قاعدة المحطة هذه تذهب مكالماتنا التليفونية إلى نظام خط التليفون الأرضي المنتظم. التليفونات المحمولة وقاعدة المحطات مزدوجة الاتجاه وتنتج أشعة بترددات راديوية ومن ثم تعرض الناس القريبين منها إلى أشعة الترددات الراديوية، ولأن التليفونات وقاعدة المحطات ذات قدرة منخفضة (مدى قصير Short Range) فإن مستويات التعرض لأشعة RF الصادرة منها تكون عموما منخفضة جدا.

وتجمع الهيئات العلمية فى الولايات المتحدة وفى أنحاء العالم على أن قدرة هوائي Antenna قاعدة محطات التليفون المحمول منخفضة للغاية إلى قدر لا يمكنها إنتاج أي مخاطر على صحة الإنسان طالما ظل الناس بعيدين عن الاقتراب المباشر منها.

ومن المهم أن نعرف الفرق بين الهوائيات وهى الأجسام التي تنتج أشعة RF والأبراج أو الصاري، التركيب الذي يركب عليه الهوائي، والذي يجب أن يبتعد عنه الناس هو الهوائي وليس البرج الذي يمسك الهوائي. يجب أن نعرف أيضا أن هناك تصميمات عديدة ومختلفة من قواعد محطات التليفون المحمول والتي تختلف عن بعضها البعض فى قدراتها وخصائصها وفاعليتها لتعرض الناس لأشعة RF، ومن المهم أن نشير هنا إلى أنه توجد فروق تقنية بين التليفونات الخلوية والتليفونات PCS والتليفونات المحمولة المستخدمة فى الدول المختلفة، ولكن لتقييم المخاطر الصحية المحتملة يكون الفرق المهم هو أنها تعمل عند ترددات تختلف اختلافا ضئيلا، أشعة الترددات الراديوية من بعض قواعد المحطات قد تمتصها أجسام الناس بقدر أكبر بعض الشيء عن أشعة الترددات الراديوية من أنواع أخرى من قاعدة المحطات. على أي حال، بمجرد امتصاص الطاقة تكون التأثيرات نفس الشيء. ونضيف إلى ذلك أن أشعة RF من بعض الهوائيات مثل

محطات TV – VHT, FM تمتص من قبل الناس أكثر من RF من المصادر المختلفة مثل هوائيات محطات التليفون المحمول، ولكن بمجرد امتصاص الطاقة يكون التأثير نفس الشيء.

ترسل هوائيات TV, FM قدرة أكبر من 100 إلى 5000 مرة من هوائيات محطات التليفون لكنها توجد على أبراج أعلى بكثير (عادة من 800 إلى 1200 قدم).

يجب ملاحظة أن خطوط القوى لا تنتج أشعة غير مؤينة مهمة ولكنها تنتج مجالات كهربائية ومغناطيسية. وخلافا للأشعة غير المؤينة لا تشع هذه المجالات طاقة فى الفضاء وتختفي هذه المجالات عند توقف القدرة وليس من الواضح ما إذا كانت خطوط القوى تسبب تأثيرات بيولوجية أم لا، ولكن إذا حدث ذلك فإنه لن يكون بنفس الطريقة التي تحدث بها أشعة RF عالية القدرة تأثيرات بيولوجية.

## 8.4 الخطوط الاسترشادية الآمنة لهوائيات محطة التليفون المحمول

**Safety Guide Lines for Mobile Phone Base Station Antennas**

توجد مستويات أمان قومية ودولية لتعرض العامة لأشعة RF الصادرة من هوائي محطة التليفون المحمول. والمعايير التي لاقت قبولا واسعا هي تلك التي صدرت من معهد الهندسة الكهربائية والإلكترونية **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE),** والمعهد القومي الأمريكي للمعايرة **American National Standards Institute{ANSI/IEEE}** واللجنة الدولية للوقاية وقياس الإشعاع غير المؤين **International Commission Non-Ionizing Radiation Protection [ICNIRP]** والمجلس القومي للوقاية وقياسات الإشعاع **National Council on Radiation Protection and Measurements [NCRP]** . ويعبر عن معايير التردد

الراديوى بكثافة قدرة الموجة المستوية والتي تقاس بـــالمللى واط لكـــل ســـنتيمتر مربـــع ($mw/cm^2$).

بالنـــسبة لهوائيـــات PCS {1800 – 2000MHz}, معيـــار تعـــرض الجمهـــور [ANSI/IEEE 1992] هـــو 1.2 مللـــي واط لكـــل $cm^2$. بالنـــسبة للتليفـــون المحمـــول التمـــاثلي (900MHz) معيـــار التعـــرض {ANSI/IEEE} هـــو $0.57mw/cm^2$. معايير ICNRP تكون أقل قلـــيلا، أمـــا معـــايير NCRP تكـــون متطابقة.

فى عـــام 1996 م أصـــدرت لجنـــة الاتـــصالات الفدراليـــة الأمريكيـــة U.S. Fedral Communication Commission [FCC] خطوطـــا استرشـــادية Guide Lines للترددات الراديوية لهوائيـــات محطـــة التليفـــون المحمـــول. ومعـــايير FCC تطابق معايير ANSI/IEEE.

معايير تعرض الجمهور تطبق على معدل كثافات القدرة لفتـــرات قـــصيرة حـــتى 30 دقيقة فى حالة المعايير FCC, NCRP, ANSI/IEEE. (عنـــد تـــردد التليفـــون المحمول). عند وجود هوائيات متعددة، تطبـــق هـــذه المعـــايير علـــى القـــدرة الكليـــة الناتجة عن كل الهوائيـــات. وقـــد وضـــعت إرشـــادات الأمـــان لأشـــعة التـــرددات الراديوية بناء على الأسس العلمية التالية:

1- التعرض لأشعة RF يمكن أن يمثل خطرا إذا كان التعـــرض شـــديدا بقـــدر كـــاف. وتشمل الإصابات المتوقعة، المياه البيضاء (كتاراكـــت) حـــروق الجلـــد، الحـــروق العميقة أو الغائرة.

2- تعتمد التأثيرات البيولوجية لأشعة RF على معـــدل الطاقـــة الممتـــصة، وفى مـــدى واسع من الترددات {1 – 10000Hz} تكون أهمية التردد ضئيلة جدا.

3- تتناسب التأثيرات البيولوجية لأشعة RF مع معـــدل امتـــصاص الطاقـــة وتكـــون أهمية فترة التعرض ضئيلة جدا.

4- لا تظهر أي تأثيرات بيولوجيـــة تحـــت معـــدل معـــين لطاقـــة امتـــصاص الجـــسم

الكامل، ويسمى هذا المعدل، معدل الامتصاص النوعي أو **SAR**.

نشير إلى أن هوائي محطة التليفون المحمول يوجد على بعد حوالي 10 أمتار من الأرض والتي تعمل عند أقصى شدة ممكنة، تصدر كثافة قدرة عالية حتى 0.01mw لكل سنتيمتر مربع على الأرض القريبة من موقع الهوائي، ولكن كثافة القدرة لمستوى الأرض سوف يكون غالبا فى المدى – 0.00001 0.0005mw/cm2 وكثافات القدرة هذه أقل بكثير من كل إرشادات الأمان وقد وضعت المعايير نفسها عند مستويات أقل بكثير من المستويات التي ثبت أنها تسبب مخاطر صحية.

فى حدود حوالي 200 متر من موقع الهوائي، من الممكن أن تكون كثافة القدرة أكثر عند ارتفاعات فوق قاعدة الهوائي (عند الطابق الثاني من المبنى مثلا أو عند الربوة) حتى فى حالة تعدد الهوائيات على نفس البرج سوف تكون كثافات القدرة أقل بمقدار 5% من إرشادات الأمان FCC عند كل الارتفاعات وعند كل المسافات أبعد من 55 مترا من موقع الهوائي. أبعد من 200 متر من موقع الهوائي لا ترتفع كثافة القدرة مع زيادة الارتفاع. كثافة القدرة داخل المبنى سوف تكون أقل بمعامل 3 إلى 20 عن الخارج.

## 9.4 هوائيات الراديو والتليفزيون

## Radio and Television Antennas

ترسل محطات بث الراديو والتليفزيون إشاراتها بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية **RF**. هذه المحطات ترسل عند ترددات **RF** مختلفة، اعتمادا على القناة، تتراوح من حوالي 550 كيلو هرتز للراديو **AM** ( **Modulated Amplitude**) حتى 800 ميجا هرتز **MHz** لبعض محطات التليفزيون **UHF** (**Ultra High Frequency**) والتليفزيون **VHF** بين هاتين النهايتين. قدرات التشغيل (القدرة الإشعاعية المؤثرة) يمكن أن تكون صغيرة إلى حد عدد

قليل من مئات الواط بالنسبة لبعض المحطات الراديوية أو حتى ملايين الواط بالنسبة لمحطات تليفزيون معينة. بعض من هذه الإشارات يمكن أن تكون مصدرا مهما لطاقة RF فى البيئة المحلية.

كمية طاقة RF من هوائيات محطات البث التي يتعرض لها الجمهور أو العاملون تعتمد على عدة عوامل تشمل:

1- نوع المحطة .

2- مواصفات تصميم الهوائيات المستخدمة .

3- القدرة المرسلة إلى الهوائيات .

4- ارتفاع الهوائي والبعد عنها .

نظرا لأن الجسم البشرى يمتص طاقة بعض الترددات بسهولة أكثر من امتصاصه لطاقة بعض الترددات الأخرى فإن تردد الإشارة المرسلة وأيضا شدتها تصبح ذات أهمية كبيرة.

اقتراب الجمهور من هوائيات محطات البث محدود جدا وعلى ذلك لا يتعرض الأفراد إلى مستويات المجالات العالية والتي توجد بالقرب من الهوائيات. القياسات التي أجرتها FCC ,EPA والهيئات الأخرى قد بينت أن مستويات إشعاع RF المحيط فى المناطق العمرانية القريبة من هوائيات محطات البث تكون عادة أقل تماما من مستويات التعرض المنصوص عليها بالمعايير والإرشادات الحالية. لاشك أن عمال صيانة الهوائيات يتعرضون لمستويات أعلى، فى هذه الحالة يلزم أخذ الاحتياطات اللازمة للوقاية.

## 10.4 العلاج بالميكروويف Microwave Therapy

يستخدم النفاذ الحراري Diathermy لكل من الموجات القصيرة LF والموجات الميكرونية لتسخين الأنسجة عند العمق مع الحفاظ على درجة حرارة

السطح عند الحد الأدنى. تعمــل أجهــزة الموجــات الميكرونيــة (الميكروويــف) عنــد 2450MHz، وتوجد بعض الأجهزة الأخــرى الــتي تعمــل عنــد 25 MHz ± 915 ولكنها أقل انتشارا. يتولد مجال RF المتذبذب من المــاجنترون. يغــذى الخــارج منــه إيريال من خلال كابل متحد المحور، ويطلق على الإيريــال المــستخدم ويوضــع علــى بعد حوالي 15cmمن جزء الجسم المطلــوب علاجــه. صــمم هــذا المــستخدم بعــد الحرب العالمية الثانية، ولكــن حــديثا تطــور المــستخدم ليعمــل بــالتلامس المباشــر ويوضع على سطح الجلد. وتحاول هذه الطريقة تقليل الإشعاع المتسرب.

## 11.4 مجالات الترددات متناهية الانخفاض

## Extremely Low Frequency Fields (ELF)

### الخصائص الفيزيائية Physical Characteristics

تشمل منطقة ELF الطيفية الترددات بين 3000 و 3 هيرتــز. فى هــذا الجــزء من الطيف تتغير المجالات ببطء مع الزمن والأطــوال الموجيــة طويلــة للغايــة. تعتــبر مجالات ELF كمجالات كهربائية ومغناطيسية منفصلة ومــستقلة غــير مــشعة عنــد أي نقطة تجمع ملحوظة. تنشأ المجالات الكهربائية من الــشحنات الكهربائيــة ويعــرف المجال الكهربائي E بمقدار واتجاه القــوة الــتي يــؤثر بهــا علــى وحــدة الــشحنة الساكنة. وحدات شدة المجال الكهربائي هي الفولــت / متــر (V/m) بــالرغم مــن أنها غالبا تقدر بالكيلو فولــت / متــر (kV/m). كثافــة الفــيض المغناطيــسي B يصف شدة المجال المغناطيسي، كما يــصف E المجــال الكهربــائي. وحــدات B هــي تسلا (T) وهى عادة تقاس بالميكرو تسلا (MT) فى أمــاكن العمــل. وهنــاك وحــدة أخرى للمجال المغناطيسي B هي الجــاوس G والــتي تقــاس بــالميللى جــاوس mG (T=10000G).

تنشأ المجالات المغناطيسية عن حركة الشحنات أو التيارات وهــذا يطبــق علــى

المجالات سواء كانت من خطوط القوى المغناطيسية أو الأرض. بالضبط مثل المجال الكهربائي الذى يعرف بالقوة / وحدة الشحنة. يعرف المجال المغناطيسي بمقدار واتجاه القوة المؤثرة على الشحنة المتحركة أو التيار.

## التفاعلات مع المادة والإنسان Interaction with Matter and People

تتفاعل المجالات الكهربائية مع الإنسان من خلال السطح الخارجي للجسم وتستحث مجالات وتيارات داخل الجسم. تذبذب الشعر أو التهيجات الحسية (Sensorstimuli) قد تحدث فى المجالات الأكبر من 10kv/m.

المجالات المغناطيسية المتغيرة مع الزمن تنتج مجالات كهربائية وهذه تنتج تيارات فى الأنسجة تتناسب تناسبا طرديا مع كثافة الفيض المغناطيسي و تردد الاهتزازة، ونصف قطر التيار اللولبي ( Current loup). أقصى كثافة للتيار الناتجة فى البيئة السكنية تكون فى حدود ميكروأمبيرات لكل متر مربع ($\mu$ A/$m^2$) بالنسبة لأقواس اللحام الكهربائية قد تكون فى حدود مللي أمبير لكل متر مربع أو أكثر نظرًا لأن طاقة الفوتون تتناسب طرديا مع التردد، يظهر جلياً أن مجالات ELF لا تسبب أي تأين أو تسخين. ولأن الجسم موصل جيد نسبيا فإن أعلى مجال داخلي يمكن أن ينتج عن شدة المجال الكهربائي فى الهواء يكون حوالي واحد V/m وهذا يؤدى إلى أن معدل الطاقة المنقولة لوحدة الكتلة (W/Kg) $10^{-4}$واط لكل كيلوجرام. المجالات المغناطيسية النبضية يمكن أن تنتج مجالات كهربائية داخلية أعلى ولكنها تظل صغيرة جدا إلى حد أنها لاتحدث تسخين للأنسجة يمكن قياسه. أي تفاعل لمجالاتELF فى الهواء مع الإنسان تكون إذن غير حرارية.

## التأثيرات البيولوجية والصحية Biological and Health Effects

حددت المنظمات الدولية حدود التعرض لمجالات ELF – EMF بناء على الصلة بين كثافة التيار والتأثيرات البيولوجية على النحو التالي:

أ – من 10– 1مللي أمبير / متر مربع: تسجيل تأثيرات بيولوجية ضئيلة.

ب – من 100 - 10مللي أمبير / متر مربع: تحدث تأثيرات مؤكدة تشمل تأثيرات على الأنظمة البصرية والعصبية.

جـ– من 1000 - 100مللي أمبير / متر مربع: يحدث حث أو تهيج مسببا مخاطر صحية ممكنة.

د – 1000مللي أمبير / متر مربع أو أعلى: انقباض للقلب وتقلص الشـ ايين وانقباض عضلات البطن.

والجدير بالذكرأنه عند 60Hz تؤدى المجالات المغناطيسية فى حدود 1mT إلى كثافات تيار فى حدود $6mA/m^2$.

تعتمد طبيعة التفاعل المتبادل بين المصدر الكهرومغناطيسي والمادة البيولوجية على تردد المصدر، لذلك يجب تقييم الأنواع المختلفة من المصادر الكهرومغناطيسية كل على حدة. أشعة X، والأشعة فوق البنفسجية UV والضوء المرئي، والموجات الميكرونية والترددات الراديوية، والمجالات المغناطيسية من أنظمة القوى الكهربائية (مجالات تردد قوى) والمجالات المغناطيسية الساكنة كلها مصادر طاقة كهرومغناطيسية. هذه المصادر الكهرومغناطيسية تختلف فى تردداتها أو أطوالها الموجية.

تردد المصدر الكهرومغناطيسي هو المعدل الذي يغير به المجال الكهرومغناطيسى اتجاهه و/ أو سعته، وعادة تكون وحدته الهرتز Hz، وواحد هرتز هو تغير واحد دورة لكل ثانية. مجالات تردد القوى تكون 50/60 هرتز والطول الموجي حوالي 5000Km، وخلافا لذلك تردد أفران الميكروويف 2.54 بليون هرتز. وطول موجي 10cm وتردد أشعة X $10^{15}$ هرتز وأطوال موجية أقل من 100نانومتر. المجالات الساكنة أو التيار المستمر(DC) لا تتغير بانتظام مع الزمن ويمكن أن يقال عنها تردد عند صفر هرتز. وطول موجي لانهائي.

## التأثيرات الوراثية Genetic Effects

الدراسات فى هذا المجال لم تجد تأثيرات يمكن الاعتماد عليها، ولكنها سجلت بعض نتائج إيجابية مشتتة.

## التكاثر والتطور Reproduction and Development

تمت دراسات على حيوانات التجارب باختيار نوعيات معينة منها ثم تعريضها إلى مجالات B, E. ظهرت بعض الاكتشافات الإيجابية المشتتة للحيوانات المعرضة، لكن المشاهدات لم تكن متطابقة ولم يكن لها صفة التكرارية.

اختبرت معامل فى أمريكا الشمالية وأوروبا تأثير المجالات المغناطيسية (1μT تردد 100Hz) على أجنة الدجاج Chicken Embryos. وقد أظهرت البيانات المأخوذة من معملين وبيانات الأحواض Pooled من جميع المعامل زيادة ملحوظة فى الأجنة غير الطبيعية فى المجموعات المعرضة. على أي حال قد وجد أن تأثير التعريض يختلف اختلافا واضحا من معمل لآخر.

فى دراستين على التكاثر والتطور على الفئران استخدمت كثافة فيض 1 أو 0.65 مللي تسلا عند تردد 60Hz وجد اختلاف واضح فى عدد الأجنة فى الطور الأخير من الحمل Fetuses لكل ولدة Litter فى مجموعة 1 مللي تسلا فى التجربة الأولى، ولكن هذا لم يلاحظ فى الدراسة المتكررة. وأجريت تجربة على الفئران الحوامل 0.002 (0.2 , 1 مللي تسلا عند 60Hz )، ولم توجد اختلافات واضحة عن التطور الطبيعي.

## الدراسات على السرطان Cancer Studies

أجريت بعض الدراسات عن العلاقة بين التعرض لـ ELF وبعض أنواع السرطانات مثل اللوكيما (سرطان الدم) وسرطان المخ وسرطان الصدر. كانت النتائج معقدة وصعبة التفسير ولم تحقق اتجاهات واضحة وقد راجع بعض الباحثين النتائج المنشورة

واستنتجوا أن التأثير التحفيزى Promoting Effect للمجالات المغناطيسية تحت ظروف تعريض معينة لا يمكن صياغتها فى قواعد محددة استنادا على البيانات المذكورة.

واستنادا إلى الدراسات المكثفة المنشورة بالمراجع التي تتعلق بتأثيرات المجالات الكهربائية والمغناطيسية على الخلايا والأنسجة والكائنات الحية بما فى ذلك الإنسان نستنتج أن التعرض لهذه المجالات لا يتسبب فى وجود أي مخاطر صحية للإنسان. لا يوجد دليل قاطع وثابت يبين أن التعرض للمجالات الكهربائية والمغناطيسية السلكية ينتج سرطانا أو تأثيرات ضارة على السلوك العصبي أو تأثيرات التكاثر والتطور. بينت الدراسات التى أجريت على الخلايا والأنسجة المعزولة والحيوانات أن التعرض لمستويات أعلى من مستويات المجالات الكهربائية والمغناطيسية المستخدمة فى المساكن يمكن أن تنتج تأثيرات بيولوجية (على سبيل المثال يعجل التئام العظام) ولكن هذه التأثيرات لا تعطى صورة ثابتة عن العلاقة بين التأثيرات البيولوجية لهذه المجالات والمخاطر الصحية.

تتكون البيئة الكهرومغناطيسية العادية من مركبتين، مجال كهربائي ومجال مغناطيسى. عموما بالنسبة للمجالات المتغيرة مع الزمن، هذان المجالان يتزاوجان لكن فى حالة المجالات غير المتغيرة يصبحا مستقلين. فى حالة ترددات نقل وتوزيع القوى الكهربائية يمكن اعتبار هذين المجالين إلى حد جيد من التقريب، مستقلين بالنسبة لمجالات الترددات المنخفضة للغاية ELF التي تشمل خطوط القوى وأجهزة المنزل ووصلات الأسلاك، تضعف المركبة الكهربائية بسهولة بسبب العناصر المعدنية فى البناء السكنى وحتى أيضا بسبب الأشجار والحيوانات والناس. المجال المغناطيسي الذي لا يضعف بسهولة يفترض – عموما – أنه هو مصدر أي خطر محتمل على الصحة. عندما يوضع جسم الحيوان فى مجال مغناطيسي يتغير مع الزمن تستحث التيارات لتسرى خلال الأنسجة. هذه التيارات تضاف إلى تلك التي تتولد داخليا من وظيفة العصب والعضلة.

الاستنتاجات العامة من مراجعة الدراسات المنشورة والتي تتضمن دراسة تقدير التعرض والتفاعلات الفيزيائية للمجالات الكهربائية والمغناطيسية مع

الأنظمة البيولوجية هي:

1- تعرض الإنسان والحيوانات إلى المجالات الكهربائية والمغناطيسية الخارجية (60 هرتز) يستحث تيارات داخلية. وتكون كثافة هذه التيارات غير متجانسة خلال الجسم. النماذج المكانية Spatial Patterns للتيارات المستحثة من المجال المغناطيسي تختلف عن تلك المستحثة بالمجال الكهربائي.

2- المستويات المحيطة للمجال المغناطيسي للتردد 60 هرتز في السكن ومعظم أماكن العمل تكون عادة من 0.01 - 0.3 ميكروتسلا.

3- تعرض الإنسان إلى مجال مغناطيسي 60 هرتز عند 0.1 ميكروتسلا يتسبب في كثافة تيار أقصاها حوالي 1 ميكرو أمبير لكل متر مربع. كثافة التيار الذي ينمو داخليا على سطح الجسم (أعلى كثافة تحدث داخليا) المرتبطة بالنشاط الكهربائي للخلايا العصبية تكون في حدود واحد ميكرو أمبير/ متر مربع. التردادات المرتبطة بالتيارات المتولدة داخليا في المخ تتراوح من أقل من واحد هرتز إلى حوالي 40 هرتز وأقوى مركبات تكون حوالي 10 هرتز. إذن التيارات المستحثة الخارجية العادية تكون أقل بمقدار ألف مرة عن التيارات الموجودة طبيعيا.

4- لا توجد بيانات، متاحة سواء كانت تجريبية أو نظرية، عن كثافة التيارات المستحثة موضعيا داخل الأنسجة والخلايا والتي تأخذ في الاعتبار الاختلافات الموضعية في الخواص الكهربائية للوسط.

نظرا لأن الآليات التي من خلالها تسبب المجالات الكهربائية والمغناطيسية آثاراً صحية ضارة مازالت غامضة، فإن خصائص المجالات الكهربائية والمغناطيسية المطلوب قياسها لاختبار صلة هذه المجالات بالمرض تظل غير واضحة.

وقد توصلت الدراسات التي أجريت خارج المكان Invitro على التعرض لمجالات كهربائية ومغناطيسية إلى الاستنتاج التالي: التعرض للمجالات الكهربائية والمغناطيسية عند ترددات 50 أو 60 هرتز تسبب

تغيرات فى الخلايا المزروعة فقط عند شدة مجال يفوق شدة المجال السكنى المعتاد بمقدار 1000 أو 100000 مرة.

توصلت نتائج الدراسات على التأثيرات البيولوجية لترددات قوى المجالين الكهربائي والمغناطيسي على الأنظمة الحية Invivo Systems إلى الاستنتاجات التالية:

لا يوجد دليل مقنع على أن التعرض للمجالات الكهربائية أو المغناطيسية 60 هرتز تسبب سرطانا فى الحيوانات.

لا توجد مؤشرات على وجود أي تأثيرات ضارة على التكاثر أو التطور فى الحيوانات وخصوصا الثدييات، نتيجة التعرض لترددات القوى الكهربائية أو المغناطيسية 60 أو 50 هرتز.

## 12.4 المجالات الكهربائية والمغناطيسية الساكنة وصحة الإنسان

**Static Electric and Magnetic Fields and Human Health**

فى حين يتركز الاهتمام العام حول العلاقة بين المجالات الكهرومغناطيسية والسرطان، على مجالات ترددات القوى، الميكروويف MW والترددات الراديوية RF ظهرت بعض الادعاءات بأن المجالات المغناطيسية الساكنة تسبب أو على الأقل تساهم فى حدوث السرطان. يوجد سبب نظري ضعيف جدا يتوقع أن المجالات الساكنة يمكن أن تسبب أو على الأقل تساهم فى حدوث السرطان أو أي مشاكل صحية أخرى للإنسان.

والجدير بالذكر أن المجالات المغناطيسية الساكنة من الصعب تدريعها (حجبها) وتخترق المباني والناس ، وعلى اختلاف هذه المجالات فإن قدرة المجالات الكهربائية على اختراق الجلد أو المباني صغيرة جدا. ونظرا لأن المجالات الكهربائية الساكنة لا تخترق الجسم فإنه يفترض عامة أن أي تأثير بيولوجي ينتج عن التعرض الروتيني للمجالات الساكنة سوف تكون ناتجة عن المركبة المغناطيسية للمجال أو للتيارات الكهربائية المستحثة فى الجسم من المجالات المغناطيسية.

وكما ذكرنا سابقا وحدات المجال المغناطيسي الساكن هي التسلا T مللي تسلا mT وميكرو تسلا μT حيث

T = 1000mT
mT = 1000 μT

وتقاس هذه الوحدة فى بعض الدول بالجاوس حيث

1T = 10000G
100 μT = 1G

وتعين المجالات المغناطيسية إما بكثافة الفيض المغناطيسي أو بشدة المجال المغناطيسي.

فى الولايات المتحدة وغرب أوروبا تعين شدة المجال المغناطيسي بوحدة كثافة الفيض المغناطيسي (تسلا أو الجاوس) و فى شرق أوروبا وبلدان أخرى تعين بوحدة شدة المجال أورستد (Oersteds (Oe.

فى حالة تعرض المواد غير فرو مغناطيسية non-Ferromagnetic Material مثل الحيوانات أو الخلايا يمكن اعتبار كثافة الفيض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي متساويين، لذلك

=1 أورستد = 1 جاوس = 0.1 مللي تسلا

## المجالات المغناطيسية الشائعة فى محل الإقامة

**Static Magnetic Fields Common in Residences**

التعرض السكنى أو البيئي للمجالات المغناطيسية الساكنة يغلب عليه مجال الأرض الطبيعي، وهو فى حدود من 0.03 إلى 0.07 مللي تسلا اعتمادا على الموقع. المجالات المغناطيسية الساكنة تحت خطوط انتقال التيار المباشر (DC) تكون حوالي 0.02 مللي تسلا. مصادر المجالات المغناطيسية الساكنة الصناعية الصغيرة (المغناطيس الدائم) مكونات شائعة وتتراوح بين متخصصة (سماعة التحدث، المحركات التي تعمل بالبطارية، أفران الميكروويف) إلى العادية أو البسيطة(مغناطيسات المبردات). وهذه المغناطيسات يمكن أن تنتج مجالا من 1 إلى

10مللي تسلا فى حدود سنتيمتر من أقطابهــا المغناطيــسية. وعلــى أي حــال أعلــى مجال مغناطيسي ساكن يتعرض له الناس يأتى من تــصوير الــرنين المغناطيــسي(MRI) حيث تتراوح المجالات من 150 إلى 2000 مللي تسلا.

## المجالات المغناطيسية الساكنة الشائعة فى أماكن العمل

## Static Magnetic Fields Common in Work Places

الأشخاص الذين يتعرضون لمجالات مغناطيــسية ســاكنة هــم الــذين يعملــون على وحدات تــصوير الــرنين المغناطيــسي (MRI) والــذين يــشغلون معجــلات الجسيمات والذين يعملون فى إنتاج الألمونيوم (عمليــات الإلكتروليــت). وقــد تــبين أن العاملين فى صناعة الألمونيوم يتعرضون لمجالات مــن 5 – 15 مللــي تــسلا لفتــرات طويلة من الوقت، ويصل أقــصى تعــرض إلى حــوالي 60 مللــي تــسلا. وســجلت دراسات أخرى أن متوسط التعرض هو من 2-4 تــسلا لفتــرات طويلــة مــن الــزمن ويصل أقصى تعرض إلى 30 مللــي تــسلا. العــاملون علــى معجــلات الجــسيمات يتعرضون لمجالات أعلى من 0.5 مللي تسلا لفترات ساعات كــثيرة. أقــصى تعــريض حتى 2000 مللي تسلا. وثمة مصدر آخر للتعرض يتمثــل فى المجــالات المتبقيــة الــتي تتبقى بعد إزالة المغناطيس القوى، على ســبيل المثــال بعــد إزالــة وحــدة التــصوير بالرنين المغناطيسي من الغرفة، يتبقى مجال حوالي 2 مللي تــسلا يمكــن أن يتبقــى مــن الصلب فى التركيب الذي يتمغنط بصفة دائمة. مثــل هــذه المجــالات ليــست كافيــة لكي نعتبرها ضارة على صحة الإنسان. ولكن يمكــن اعتبارهــا قويــة بقــدر كــاف للتداخل مع تشغيل الأجهزة الإلكترونية الحساسة.

## العلاقة بين التعرض للمجالات المغناطيسية الساكنة والسرطان

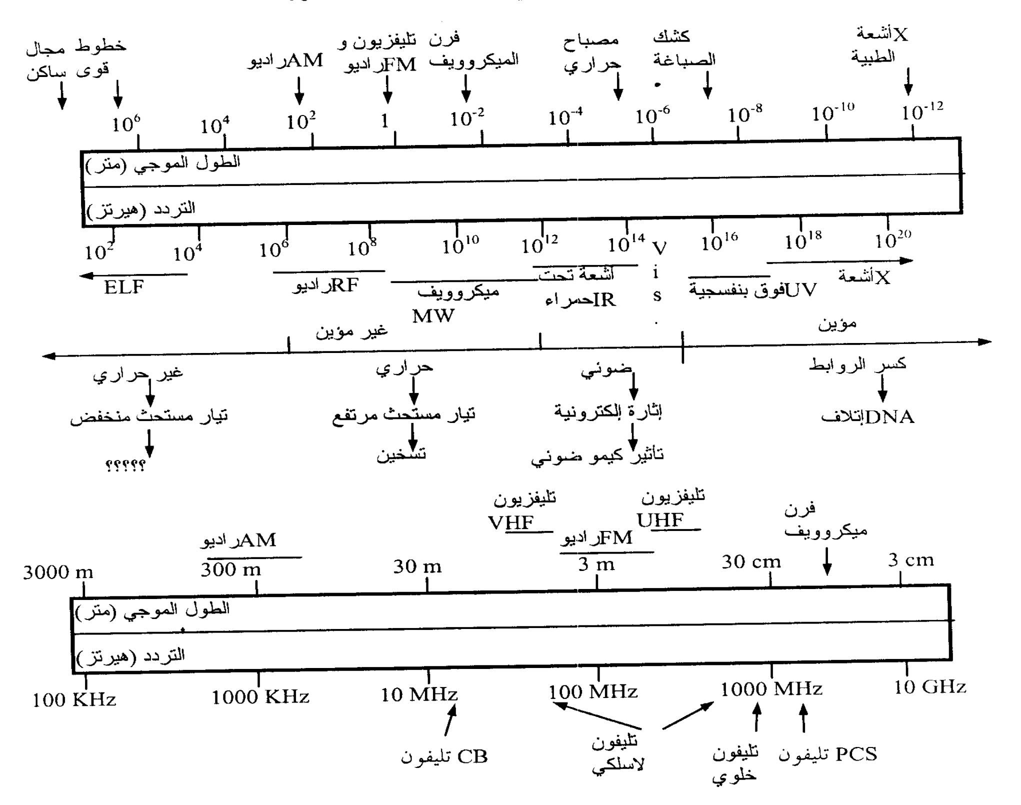
## The Relationship Between Exposure to Static Magnetic Fields and Cancer

توجد بعــض دراســات قليلــة تتعلــق بإصــابة العــاملين الــذين يتعرضــون للمجالات المغناطيسية الساكنة بمرض السرطان، بــين بعــض البــاحثين أنــه لا يوجــد

زيادة فى الإصابة بالسرطان فى العاملين الذين يتعرضون إلى 300 مللي تسلا من معجلات الجسيمات، فى حين لم يجد آخرون أي زيادة سرطان فى العاملين المعرضين لمجالات 10 مللي تسلا فى الوحدات الصناعية التي تستخدم فى إنتاج الكلور، كما توجد دراسات على العاملين بوحدات اختزال الألمونيوم.

قد بينت الدراسات المعملية أن المجالات المغناطيسية الساكنة ليس لها تأثيرات على تطور الأورام السرطانية أو نمو الخلايا أو على وظائف جهاز المناعة أو توازن الهرمونات. وعموما، لم تظهر المجالات المغناطيسية الساكنة من 13- 1150 مللي تسلا أي تأثيرات على الأورام السرطانية والمجالات من 45 – 2000 مللي تسلا لا تؤثر على نمو خلايا الإنسان أو الحيوان أو الخمائر. وقد بينت معظم الدراسات أيضا أن المجالات من 13 – 2000 مللي تسلا لا تؤثر على الجهاز المناعي للحيوان . وبينما لم تثبت التجارب المعملية أي صلة بين المجالات المغناطيسية الساكنة والسرطان، فقد سجلت الدراسات أن هذه المجالات تحدث تأثيرات بيولوجية وخصوصا عند المجالات أعلى من 2000 مللي تسلا وهذه التأثيرات ليس لها صلة واضحة بالسرطان.

جـــدول (10) يظهـــر منـــاطق التـــرددات والأطـــوال الموجيـــة للطيـــف الكهرومغناطيسى وأيضا الأجهزة المختلفـــة الـــتي تعمـــل فى هـــذه المنـــاطق. كمـــا أن جدول (11) يبين أمثلة على الإشعاعات التي تبعثها المنتجات الإلكترونية.



جدول(11) أمثلة على الإشعاعات التي تبعثها المنتجات الإلكترونية

| الإشعاع / الاستخدامات | أشعة X المؤينة | الأشعة الضوئية (المرئية، UV، IR، ليزر) | الترددات الراديوية VLF/ELF، المغناطيسية |
| --- | --- | --- | --- |
| طبية: التشخيص | * العلاج الإشعاعي العام<br>* تصوير الأسنان<br>* أطياف التفلور<br>* أشعة مقطعية بالكمبيوتر<br>* الفحص الإشعاعي للثدي | * مصباح الفتحة الضيقة<br>* حدة الشبكية<br>* أطياف التفلور<br>* إضاءة نافذة داخل العين | * التصوير بالرنين المغناطيسي |
| طبية: العلاج | * المعجل الطبي<br>* العلاج الإشعاعي | * التئام الجروح<br>* علاج ليزري منخفض المستوى<br>* علاج PUVA | * فرط الحساسية العقلية<br>* الاختراق الحراري<br>* التئام العظام<br>* التئام الجروح<br>* علاج البروستاتة |
| طبية: الجراحة | * الشعاع الإلكتروني الفعال الداخلي | * الليزر العلاجي<br>* ليزر العيونPRK<br>* ليزر الأسنان | * التغليف الإلكتروني |
| مجالات طبية: أخرى | * قياس كثافة العظم<br>* كبينة أشعة X<br>* التصوير البيطري [طب المواشي] | * لمبات الإكثار<br>* معالجة صمغ الأسنان<br>* أضواء التشغيل<br>* وضع المريض<br>* أشعة Xالكاشفة لمجال الضوء | * تسخين الدم (الأشعة الميكرونية)<br>* التعقيم (البلازما)<br>* ضابط المدى |
| مجالات علمية: أخرى | * أشعة X التحليلية<br>* كاشف الذبذبات | * ليزرات الأبحاث<br>* استخدامات البحوث ف مجالات UV/IR | * استخدامات علمية كثيرة<br>* الرنين النووي المغناطيسي<br>* مناخ دوبلر |
| صناعية | * كبينة أشعة X<br>* أشعة Xفي الصناعة<br>* فحص لحام المعادن | * تعيين المدى والكشف<br>* تصفيف، مسح<br>*اللحام بالليزر<br>* معالجة المواد بالليزر<br>* مراقبة العمليات/رؤية الآلة<br>* العلاج باUV | * سخان العزل<br>* معالجة الأغذية<br>* التجفيف<br>* مراقبة مرور الهواء |

| * قطاع الأعمال<br>* التجارة<br>*الأمن | * (الماسح) للناس<br>* أشعة X للحاويات | * مصباح التفلور<br>* كشاف IR أو الأمن<br>* الاتصالات بالألياف البصرية<br>* مصباح بخار الزئبق<br>*قارئ UPC<br>* مؤشر الليزر<br>* بيانات IR منفذ/تحكم | * رادار الشرطة<br>* أنظمـــــة الأمـــــن (الميكروويف)<br>* مجفف الملابس<br>* الاتصالات |
|---|---|---|---|
| * مســــتهلك (سكان المنـــزل، أجهزة المنـــزل) | * مستقبل التلفاز<br>* شاشة الفيديو<br>* كشاف الرؤية الليلية | * مصباح هالوجيني<br>*طابعة ليزر<br>* أسرة صباغة الجلد<br>* مصابيح صباغة الجلد<br>* ألعاب الليزر<br>* وحدات تحكم عن بعد<br>*كاميرات ذات التحكم الذاتي<br>* الشاشة الرقمية | * التليفون الخلوي<br>* فرن الميكروويف<br>* راديو الهواة<br>* وحدة التحكم عن بعد<br>* شاشة الفيديو |

# فيزياء الليزر
# Physics of Lasers

## مقدمة Introduction

الليزر هو مصدر ضوئي يتميز بخواص فريدة وله تطبيقات متعددة جدا تغطي مجالات مختلفة تشمل على سبيل المثال تصنيع المواد و إعدادها مثل اللحام وتقطيع ومعالجة الأسطح، خلط المعادن فى سبائك، فى الاتصالات الجوية، قياسات المسافات، معالجة المعلومات وتسجيلها، التطبيقات العسكرية والتصوير المجسم، المساحة والطب، كما يستخدم أيضا على نطاق واسع فى البحوث العلمية فى الفيزياء، الكيمياء وعلوم الأحياء. يوجد فى الوقت الحاضر عدد كبير من أنواع الليزرات المتاحة تجاريا يتراوح حجمها من أجهزة صغيرة لا تتعدى عقلة الإصبع وأجهزة ضخمة تملأ أبنية كبيرة. كل هذه الليزرات لها خصائص متميزة مشتركة. يختلف ضوء الليزر عن ضوء المصادر الضوئية الشائعة الاستخدام مثل مصابيح الإضاءة العادية أو مصابيح الفلورسنت أو مصابيح القوس.

تتكون كلمة الليزر المكتوبة بالأحرف الإفرنجية **Laser** من الأحرف الأولى من الكلمات الإنجليزية التالية:

**Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation** .ومعناها باللغة العربية تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع.

أما إذا كان تردد الإشعاع المنبعث يقع في منطقة الموجات الميكرونية (موجات الميكروويف) فتستبدل كلمة **Light** بكلمة **Microwave** لتكون الكلمة **Maser**.

في عام 1917م اكتشف عالم الفيزياء البرت أينشتاين أنه تحت شروط معينة تستطيع الذرات والجزيئات وهي المكونات الأساسية لكل المواد امتصاص الضوء أو أي طاقة أخرى، ومن ثم يمكن حث هذه الذرات على بعث هذه الطاقة التي امتصتها على شكل جسيمات ضوئية. في السنوات من عام 1950-1958م اقترح كل من جارلس تاونس **C. Townes** وآرثر شالوه **A.Schawlow** من الولايات المتحدة، تكبير إشعاعات هذه الجسيمات الضوئية بطريقة الانبعاث المستحث **Emission Stimulation**، وقد صمما جهازا لهذا الغرض، كان غاز الأمونيا هو المادة الفعالة فيه، بغرض الحصول على شعاع ليزر في منطقة الميكروويف، لذا أطلق عليه اسم ميزر **Maser** (حصل العالمان على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1964م على هذا التصميم ). في عام 1960م نجح العالم تيدور ميمن **T. Maiman** في إنتاج شعاع ليزر في منطقة الضوء المرئي باستخدام مادة الياقوت الصناعي، ويعرف هذا الجهاز بالروبي ليزر **Ruby Laser**، وهو يبعث شعاعا فريدا من نوعه قرمزي اللون يفوق الشمس بريقا.

قد تم تصميم أول ليزر غازي (هيليوم – نيون) سنة 1961م على أيدي جافان بنت وهريوت **Javan, Bennett& Herriott** كما اكتشف خلال السنين من 1963م إلى 1967م ليزرات غازية أخرى. وكانت معظمها تعمل بمستوى قدرة منخفض، أما الليزرات ذات القدرة الخارجة العالية فقد تم بناؤها أيضا ولكن باستخدام الانتقالات الأيونية والجزيئية.

لو انتقلنا الآن إلى ليزرات أشباه الموصلات يمكننا أن نقول بأنها نشأت أولا في عام 1962م. من أكثر أنواعها المعروفة هي ليزر الحقن **Injection Laser** التي تبعث بضوئها المتلاحم من الملتقى **Junction**، أي من ، منطقة الالتقاء الرقيقة التي تفصل الشبه الموصل الموجب **P-type** عن الشبه الموصل السالب

n-type. وتتم عملية إثارة هذا النوع من الليزرات بتطبيق مجال كهربائي، يعمل على حقن حاملات التيار إلى داخل الملتقى، وبهذا يتحول مباشرة جزء كبير من الطاقة الكهربائية المبذولة على بلورة شبه الموصل، إلى أشعة مستحثة. تعمل الليزرات المصممة بهذه الكيفية بكفاءة عالية، إلا أن المناطق الفعالة لها تكون رقيقة جدا، وتكون عادة بحدود القليل من المايكرونات Few Microns. كما توجد طرق أخرى متوفرة لإثارة أشباه الموصلات.

## 1.5 خصائص أشعة الليزر

يتميز شعاع الليزر بالخصائص التالية:

1- أحادية اللون أو أحادية الطول الموجي Monochromatic

2- الترابط Coherence

3- الاتجاهية Directionality

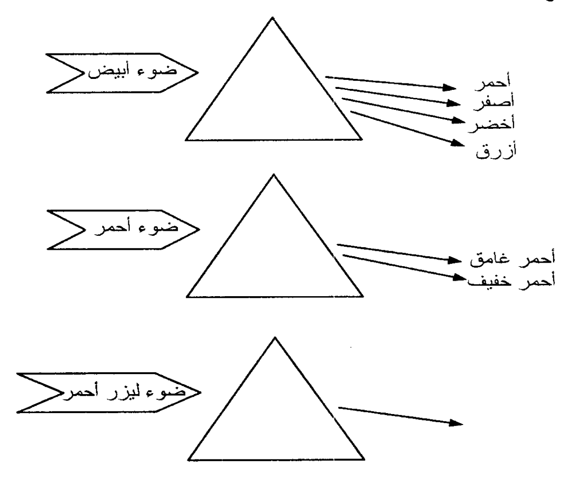
4- السطوع Brightness

### 1- أحادية الطول الموجي Monochromatic

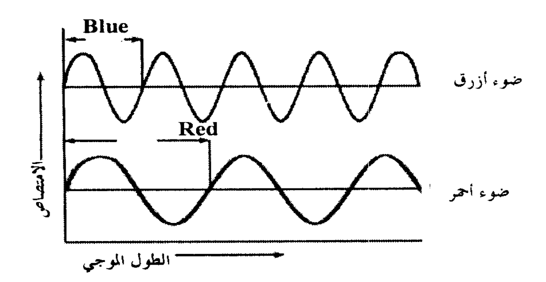
عرض حزمة الليزر متناهي الصغر، فمثلا عرض حزمة ليزر هليوم – نيون النموذجي لا يتعدى واحد نانومتر، مع العلم أنه لا يمكن الحصول على شعاع ليزر أحادي الطول الموجي تماما.

الضوء الأبيض الصادر من المصباح الكهربائي العادي يتكون من العديد من الأطوال الموجية (عرض حزمة الضوء الأبيض حوالي 300nm) عرض الطيف المرئي بأجمعه. إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور زجاجي فإنها تتفرق إلى مركباتها من الأطوال الموجية كما في شكل(11). أما إذا سقط لون.واحد من هذه الألوان وليكن الأحمر على المنشور فإنه يتفرق إلى مركبة أطواله الموجية أيضا،

وينتج المنشور حزمة ألوان طيفية تتدرج من الأحمر الداكن إلى الأحمر الفاتح كما هو موضح فى الشكل (11). لكن لا يكون للمنشور تأثير محسوس على ضوء الليزر الأحمر، ذلك لأن عرض حزمته متناهية الصغر مقارنة بالضوء الأحمر الخارج من المنشور. ومع هذا فإنه من المهم أن نعرف أنه حتى الليزر لا يمكن أن يكون أحادى اللون تماما.




شكل (11) يبين تفريق الضوء خلال المنشور.



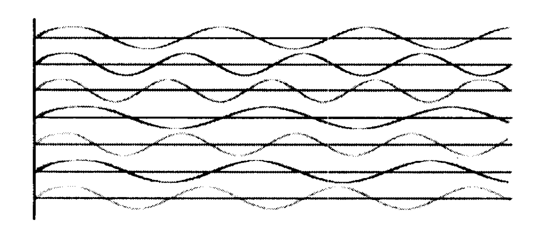

شكل ( 12) يبين مقارنة بين الطول الموجى للضوء الأحمر والضوء الأزرق.

## 2- الترابط الزماني والمكاني Spatial and Temporal Coherent

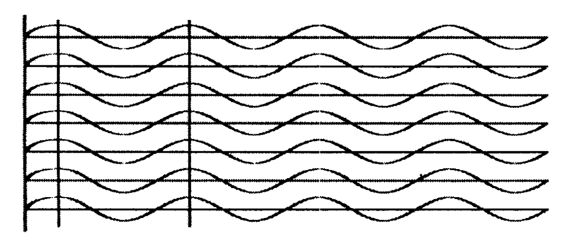
تتغير شدة وطور وطاقة الضوء الطبيعي من نقطة إلى أخرى ومن زمن لآخر عبر الحزمة المنتشرة شكل(13)، أما شعاع الليزر لا تتغير شدته ولا طوره ولا طاقته من نقطة إلى أخرى عبر حزمته (فإذا نظرنا إلى الشكل (14) نلاحظ أن حزمة الليزر لها نفس الطول الموجي، ونفس الطور. الترابط خاصية لضوء الليزر تميزه عن الأنواع الأخرى. والترابط بالنسبة للمكان يسمى الترابط المكاني Spatial Coherence والترابط بالنسبة للزمن يسمى الترابط الزماني Temporal Coherence. الضوء الصادر من الليزر يظهر كل من الترابط المكاني والزماني. الترابط المكاني يعنى أن الضوء عند قمة الحزمة يترابط مع الضوء عند قاع الحزمة. أما الترابط الزماني فإنه يحدث بسبب بقاء موجتين فى حزمة الليزر مرتبطتين لفترة زمنية طويلة وذلك عندما تتحركان مارتين بمنطقة معينة. هذا يعنى أنهما يتفقان فى الطور نفسه إحداهما مع الأخرى لعدة أطوال موجية.

توجد نتيجتان مهمتان للترابط المكاني هما الاتجاهية والبؤرية Directionality and Focussability. الضوء غير المترابط مثل ضوء الشمس يشع فى كل الاتجاهات، بينما الليزر يبعث الضوء فقط فى مخروط ضيق على طول محور المرآتين. والنتيجة الثانية للترابط المكاني تتمثل فى إمكانية تركيزها فى بقعة قطرها يساوى تقريبا الطول الموجي لضوء الليزر، عادة أقل من واحد ميكرومتر. ونتيجة للترابط الزماني يكون شعاع الليزر وحيد الطول الموجي.

تردد ضوء الشمس الأبيض يكون فى حدود $10^{14}$هرتز ويكون فى حالة ضوء الصوديوم الأصفر $10^{10}$ هرتز بينما يكون فى حالة ضوء ليزر مستقر$10^{3}$ هرتز. فى كل التقنيات الحديثة يمكن جعل حزمة الليزر مستقرة إلى جزء واحد فى $5 \times 10^{14}$.



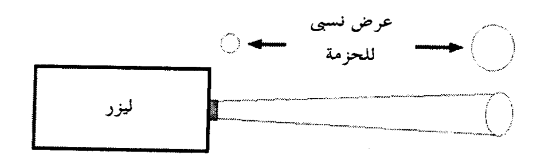
شكل (13) يبين موجات ضوء غير مترابطة.



شكل (14) يبين موجات ضوئية مترابطة (فى طور واحد)

## 3- الاتجاهية Directionality

حزم الليزر لا تنفرج كثيرا عند انتقالها لمسافات عدة مئات من الأميال. تقاس انفراجات حزم الليزرات النموذجية بجزء واحد من ألف جزء من الزوايا نصف القطرية. ولكن كما أنه من المستحيل أن يكون ليزر ما أحادى الطول الموجي تماما، فإن من المستحيل أيضا أن ينتج ليزر ما حزمة ليزر غير منفرجة تماما. وانفراج حزمة الليزر يمكن أن يكون صغيرا جدا مقارنة بالضوء الصادر من مصادر أخرى. معنى ذلك أن حزمة الليزر مركزة تركيزا شديدا. تسير أشعة الليزر فى خطوط مستقيمة أقرب إلى التوازي، لذا لا تخضع شدة الاستضاءة لأي سطح يعترضها لقانون التربيع العكسي شكل(15).




شكل (15) يبين شعاعا ذا اتجاهية عالية.

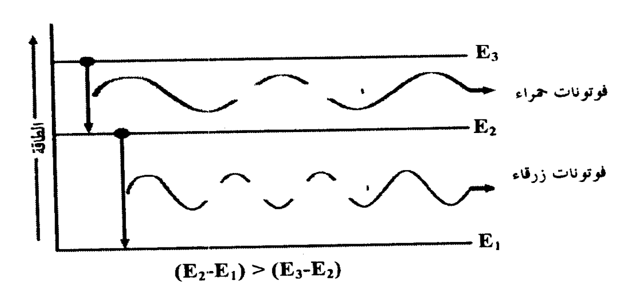
## 4- السطوع Brightness

يعرف سطوع أي مصدر للموجـات الكهرومغناطيـسية بأنـه القـدرة المنبعثـة لكل وحدة مساحة من السطح لكل زاوية مجسمة. سطوع الليـزر يكـون أكـبر عـدة مرات من أسطع المصادر المألوفة وهذا يعود بالدرجـة الأولى إلى الخـصائص الاتجاهيـة العالية لحزمته.

## الانبعاث التلقائي Spontaneous Emission

نفرض أن ذرة ما فى حالة الطاقة الأرضية امتـصت فوتونـا طاقتـه ملائمـة لأن ترفع الذرة من حالتها الأرضية إلى حالة الإثارة الأولى، تبقـى الـذرة فى حالـة إثـارة لفترة وجيزة من الزمن مقدارها جزء من المليـون مـن الثانيـة الواحـدة $10^{-8}$ ثانيـة، تعرف هذه الفترة بالعمر الزمني التلقائي، وبعد انقـضاء هـذا الـزمن تبعـث الـذرة الفوتون الذي أثارها تلقائيا وتعـود إلى حالتـها الأرضـية. وينبعـث هـذا الفوتـون بشكل عشوائي (شكل 16 يوضح الانبعاث التلقـائي). أي أن الـذرات الـتي تكـون فى حالة إثارة أي عند مستويات طاقـة عليـا، تبعـث الفوتونـات الـضوئية تلقائيـا للتخلص من حالة الإثارة – أي الطاقة الزائـدة – وتعـود إلى حالـة الطاقـة الأقـل، وهذه العملية عشوائية الحدوث والفوتونات المنبعثة لا تكـون مترابطـة بعـضها مـع بعض أي لا تكون فى نفس الطور. تتناسـب شـدة الانبعـاث التلقـائي مـع عـدد

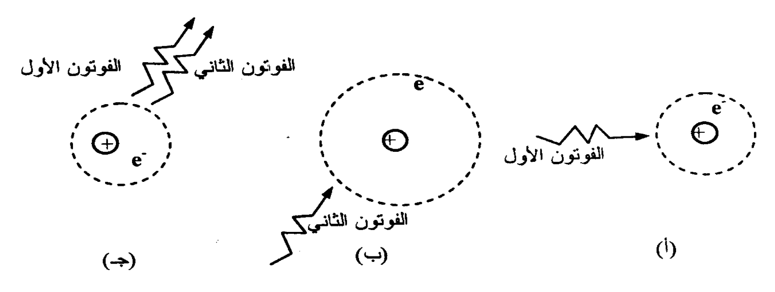
الذرات التي تهبط من مستوى الطاقة الأعلـــى $E_2$ إلى المـــستوى الأدنى $E_1$ ولا يـــرتبط بشدة المصدر الخارجي أو بطور أشعته.




شكل (16) يبين الانبعاث التلقائي.

## الانبعاث المستحث Stimulated Emission

إذا حدث واصطدم فوتون ثاني مار له نفس طاقـــة الفوتـــون الممـــتص في المـــادة بذرة مثارة فيها، فإن هذا الفوتون يحدث خللا في توازنهـــا ويجعلـــها تهـــبط اضـــطراريا لحالة طاقتها الأولى قبل انقضاء عمرها الزمني التلقـــائي ($10^{-8}$ ثانيـــة) وتفقـــد فوتونهـــا الذي أثارها أول مرة، وبذلك يحدث ترابط وتماســـك للفوتـــون المتحـــرر مـــن الـــذرة والفوتون الصادم لها. ونتيجة لذلك ينطلق فوتونان من الذرة وهمـــا علـــى قـــدر كـــبير من الترابط والتماسك. شكل ( 16).

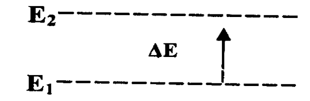



شكل (17) يبين انبعاثا مستحثا.

الانبعاث المستحث عملية فاعلة فى عمل الليزر ولو نظرنا لكلمة **Laser** لوجدنا أن الحرفين الثالث والرابع يعطيان معنى الانبعاث المستحث والضوء المنبعث من أي ليزر هـــو ضوء مترابط لأن جميع موجاته تنتشر فى نفس الاتجاه ولها نفس الطول الموجي وجميعهـــا فى نفس الطور بعضها مع بعض. تتناسب شدة الانبعاث المستحث مع شدة المصدر الخــارجي الذي حثه على الانبعاث ويكون للانبعاث المستحث نفس طور أشعة المصدر الخارجي.

## الامتصاص **Absorption**

نفترض أن الـــذرة موجـــودة فى المســـتوى $E_1$ وكـــان هـــذا هـــو المســـتوى الأرضي، فإن هذه الذرة ستبقى فى هذا المســـتوى إذا لم يـــؤثر فيهـــا مـــؤثر خـــارجي. نفتـــرض أن فوتونـــا أو موجـــة كهرومغناطيســـية ترددهـــا يســـاوى $\upsilon = E_2-E_1/h$ سقطت على المادة، ففي هذه الحالة سوف يكون هناك احتماليـــة لانتقـــال الـــذرة مـــن المستوى $E_1$ إلى المستوى $E_2$ وفرق الطاقـــة $E_2 - E_1 = \Delta E$ تمتصـــها الـــذرة مـــن الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة، ويطلق على هذه العملية الامتصاص.




## 2.5 شروط الانبعاث الليزرى

للحصول على أشعة الليزر من الضروري توفر ثلاثة شروط أساسية وهي:

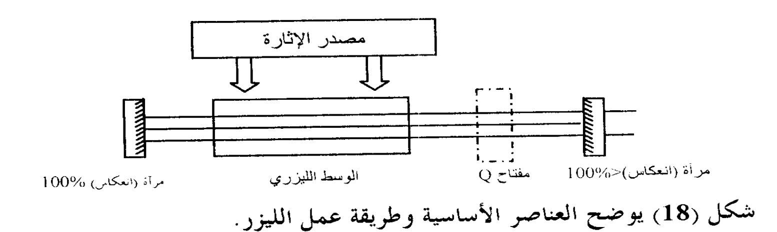
1- الانبعاث المستحث **Stimulated Emission**

2- الإسكان المعكوس **Population Inverse**

3- التكبير الضوئي **Light Amplification**

لكي يتم الفعل الليزرى بنجاح يجب أن تكون هنـــاك زيـــادة فى عـــدد الـــذرات

المثارة مقارنة بتلك الموجودة فى حالة الطاقة الدنيا. وهـــذه الحالـــة المعروفـــة بالإســـكان المعكوس، يتم الوصول إليهـــا ببـــث طاقـــة مـــن مـــصدر خـــارجي مثـــل التفريـــغ الكهربائي، الضوء الوميضى. تفاعـــل كيميـــائي أو موجـــة تـــردد راديـــوى. يـــسمى مصدر الطاقة الضخ، عندما يتم الإسكان المعكوس يحـــدث الفعـــل الليـــزرى. يـــنعكس الفوتون المستحث الناتج فى الوسط الفعـــال ذهابـــا وإيابـــا مـــرات عديـــدة بواســـطة مرآتين موضوعتين عند النهايتين المتقابلتين للمـــادة الفعالـــة. بهـــذه الطريقـــة يـــضخم عدد الفوتونات عدة مرات عند كل مـــرور خـــلال الوســـط. المنطقـــة بـــين المـــرآتين تسمى التجويف الليزرى أو المرنن **Resonator**، إحـــدى المـــرآتين تعكـــس الـــضوء جزئيا فقط حيث يكون بها فتحة تسمح بانبعـــاث نـــسبة صـــغيرة مـــن أشـــعة الليـــزر وهذا يكون شعاع الليزر الخارج شكل(**18**).




شكل (**18**) يوضح العناصر الأساسية وطريقة عمل الليزر.

نفرض أن التوزيع الطبيعي للذرات عنـــد الاتـــزان، $N_i$ فى حالـــة الطاقـــة $E_1$ فى غاز تعطى بالعلاقة التالية:

$$N_i = N_o \exp(-Ei/KT)$$

حيث **No** = هي عدد الذرات فى الحالة الأرضية

**K** = ثابت بولتزمان ($1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$)

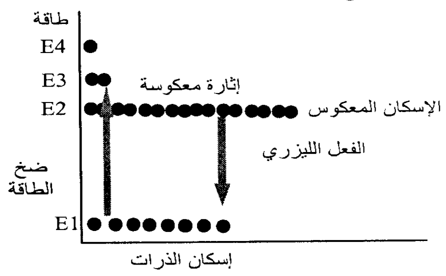
**T** = هي درجة الحرارة بالكيلفن

عدد الذرات $N_j$ عند مستوى الطاقة ( $E_i < E_j$ ) بالنسبة إلى $N_i$ هو كالتالي:

$$N_j = \exp(-\Delta E/KT)$$

حيث $\Delta E$ هي فرق الطاقة $E_j - E_i$ .

تحت ظروف الاتزان الحراري لا يمكن أن تزيد قيمة $N_j$ عن $N_i$ . الإسكان المعكوس هو حالة غير متزنة. حيث إن $N_J > N_i$. أبسط تمثيل للضخ الضوئي هو نظام المستويات الثلاثة شكل(19)، ف هذا النظام تضخ الذرات ف الحالة الأرضية إلى مستوى طاقة مثارة أعلى حيث تنحل تلقائيا إلى حالة غير مستقرة. بهذه الطريقة يصل الإسكان المعكوس بين الحالة الوسطى والحالة الأرضية وتنحل من الحالة الوسطى بالانبعاث المستحث.




شكل (19) يبين الإسكان المعكوس ف حالة المستويات الثلاثة.

## نظام المستويات الثلاثة

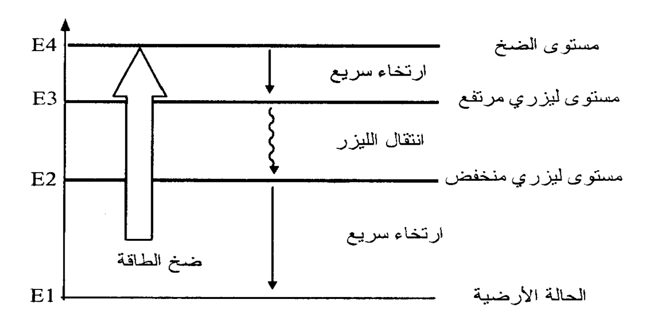
نظام المستويين لا يصلح للتضخيم الضوئي وذلك لأن الإشعاع الذي يقوم بعملية الضخ يحث الذرات على العودة إلى المستوى الأقل ف الطاقة. أما ف نظام المستويات الثلاثة نستخدم الإشعاع لضخ الذرات إلى مستوى أعلى من المستوى الذي نرغب أن تكون فيها، بعدئذ يتم الهبوط التلقائي لهذه الذرات إلى المستوى المطلوب الذي يقع دون المستوى الأول الذي تم الضخ إليه.

نفرض أننا بصدد تحقيق الإسكان المعكوس بين المستويين (2 , 1) كما فى الشكل ، تسليط شعاع ضوئي بتردد محدد $(E_1 - E_3)/h$ يرفع الذرات المثارة من المستوى (1إلى 3) ولا تلبث هذه الذرات أن تعود تلقائيا إلى المستوى (2) حيث تتراكم حتى يزيد عدد الذرات فى هذا المستوى عن عددها فى المستوى (1). لابد أن يكون اختيار المستويات الثلاثة بدقة فائقة، فمثلا يجب أن يكون معدل العودة التلقائية إلى المستوى (1) من المستوى (3) أصغر بكثير من معدل الهبوط إلى المستوى (2) وإلا فإن عدد الذرات التي تتراكم فى المستوى (2)ستتناقص بمعدل لا يسمح بخلق ظروف تؤدى إلى زيادة كبيرة فيه.

إن ميزة النظام ذي المستويات الثلاثة على النظام ذي المستويين تكمن فى أن تردد الانتقال بين المستويين ,(3 ،1) يختلف عن تردد الانتقال بين المستويين (1،2) وعليه فإن تردد الإشعاع الذي يقوم بعملية الضخ لا يمكن أن يحث الذرات على الانتقال من المستوى (2).

## نظام المستويات الأربعة

يختلف الليزر الرباعي المستوى عن الليزر الثلاثي المستوى فى أنه يمتلك مستوى ليزر واطئ مميز كما نرى فى الشكل(20). غالبا ما تبدأ جميع الليزرات فى الحالة الأرضية، ويضخ بعضا منها إلى مستوى الضخ فتنحل سريعا إلى المستوى العلوي الذي يمتلك عمرا زمنيا طويلا عادة – (لكون هذا المستوى العلوي يمتلك عمرا زمنيا طويلا فإنه يسمى بالمستوى شبه المستقر) ولكن عندما يحدث الفعل الليزرى الآن، فإن الذرات تسقط إلى مستوى الليزر السفلي أكثر منه إلى الحالة الأرضية، وما أن تعانى الذرات انتقالا مستحثا إلى مستوى الليزر السفلي حتى تنحل تلقائيا إلى الحالة الأرضية، وتكون الطاقة المتحررة فى هذا الانحلال حرارة.




شكل (20) يبين الانتقال بين المستويات الأربعة .

## 3.5 العناصر الأساسية لليزر

يتكون الليزر أساسا من الوسط الليزرى والذي يطلق عليه أيضا الوسط الفعال، ويوضع بين مرآتين متوازيتين يكونان المرنن الضوئي أو التجويف الليزرى. عندما يثار بطريقة ملائمة فإنه يضخم الضوء بالانبعاث المستحث. وينعكس الضوء المنبعث من الوسط المادي ذهابا وإيابا بواسطة المرآتين المتقابلتين مارا خلال الوسط الفعال بعد كل انعكاس، الوسط الفعال يضخم الضوء فى كل مرور، بذلك تزداد شدة الضوء إلى قيمة عالية جدا. وتجدر الإشارة هنا بأن إحدى المرآتين تنفذ الضوء جزئيا(إحدى المرآتين تعكس الضوء 100% والأخرى تعكس فقط حوالي 99%) ومنها تخرج حزمة الليزر والأشعة العمودية على المرآتين فقط تنعكس عددا ضخما من المرات فى حين الأشعة الأخرى غير المتعامدة على المرآتين سوف تنحرف بعد عدد قليل من الانعكاسات، بعيدا عن المرآتين. هذا يعطى اتجاهية عالية لشعاع الليزر.

من ناحية طبيعة الانبعاث ينقسم شعاع الليزر إلى شعاع نبضي Pulsed Mode أو موجة مستمرة Continuos Wave وأشعة الليزر قد تكون فى الضوء المرئي أو فوق البنفسجي أو تحت الحمراء فى مناطقها الثلاث، القريبة

والوسطى والبعيدة. وتوصل العلمـــاء إلى أشـــعة الليـــزر فى منطقـــة الأشـــعة الـــسينية ويوضح شكل (18) طريقة عمـــل الليـــزر والعناصـــر الأساســـية المـــشتركة فى كـــل الليزرات واحدة وهى:

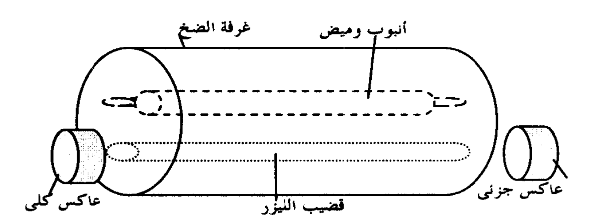
### 1- الوسط الليزرى أو الوسط الفعال

**Lazing Medium or Active Medium**

يوجد عدد ضخم من الأوساط الليزرية وهى المـــسئولة عـــن الفعـــل الليـــزرى. وهى إما غازية أو سائلة أو صلبة أو شبه موصلة مثـــل غـــاز ثـــاني أكـــسيد الكربـــون والأرجون والكريبتون والاكسيمر مثـــل XeCl, ArF. وصـــلب مثـــل Nd:YAG, Er:YAG والروبى Ruby الياقوت، وســـائلة مثـــل الـــصبغات الذائبـــة فى مـــذيبات مناسبة.

### 2- طرق الإثارة (أو الطاقة) Methods of Excitation

تختلف طريقة إثارة هذه المواد باختلاف أنواع الليـــزرات، علـــى ســـبيل المثـــال، تضخ الليزرات الصلبة (ماعدا شـــبه الموصـــلات) بمـــصادر ضـــوئية شـــديدة، عامـــة، مصباح وميـــضى أو مـــصباح قـــوس Arc Lamp تـــسمى هـــذه الإثـــارة الـــضخ الضوئي. شكل(21) يبين نموذجا لليزر المواد الصلبة.




شكل(21) يمثل نموذجا لليزر المواد الصلبة.

تضخ ليزرات الصبغة بليزر آخـــر ($N_2$ أكـــسيمر أو أيـــون الأرجـــون) لأنهـــا

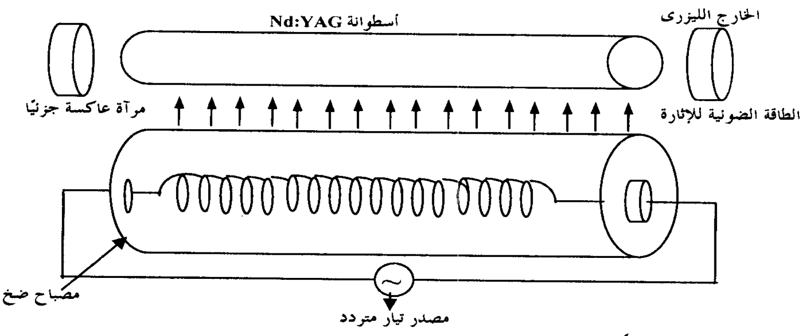
تحتاج إلى مصدر ضوئي للضخ أكثر شدة.

نعتبر على سبيل المثال تشغيل ليزر (Nd:YAG) الياج ، يتم الفعل الليزرى فى أيونات النيوديميوم **Nd** التي تطعم في إتريوم ألمونيوم جارنت **Yttrium Aluminum Garnet** وتكون بلورة **Nd-YAG** على شكل قضيب صلب. فى هذا الوسط يمتص $Nd^{3+}$ الضوء من المصباح الوميضى أو من مصباح القوس اعتمادا على ما إذا كان التشغيل المطلوب موجة مستمرة أو نبضي شكل(22).

يركز ضوء الضخ على قضيب الليزر بواسطة تجويف الضخ **Pumping Cavity** وتبعث أيونات **Nd** المثارة حزمة الليزر. ونذكر أيضا ليزر الياقوت كمثال آخر على الليزرات الصلبة. ويبين الشكل (21) الضخ الضوئي لليزرات الصلبة.

تضخ ليزرات الغاز بالتفريغ الكهربائى فى الوسط الفعال نفسه والضخ الضوئي ليس مناسبا لأن قدرة الوسط الغازي صغيرة والانتقالات الضوئية حادة جدا مما يجعل امتصاص الضوء فى الغازات غير فعال. ويبين الشكل(27) رسماً تخطيطياً لليزر غازي. فى التفريغ الكهربائى تتصادم الإلكترونات مع ذرات الغاز أو الجزيئات لإثارتها، مثلا فى ليزر الأرجون تثار الأيونات إلى مستويات طاقة إلكترونية أعلى ومنها تتم انتقالات الليزر عند أطوال موجية مختلفة.

تمثل ليزرات أشباه الموصلات نوعاً آخر من الليزرات التي أصبح لها تطبيقات واسعة وخصوصا فى المجال الطبي ويتكون أبسط أشكال ليزرات أشباه الموصلات من الوصلة **P-n**. وعندما يكون التيار فى الوصلة عاليا لدرجة كافية يحدث انبعاث مستحث تام منتجا حزمة الليزر. مميزات ليزرات أشباه الموصلات تتمثل فى حجمها الصغير (كرأس الدبوس) والكفاءة العالية (50%) وفرق جهد التشغيل منخفض 2 فولت.



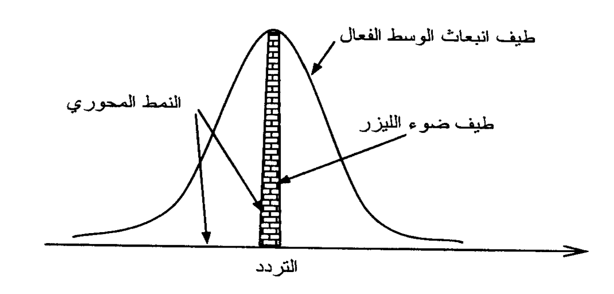

شكل(22) يبين رسماً تخطيطيًا لليزر **Nd:YAG**

ليـــزرات الأكـــسيمر **Eximer Lasers** (الاســـم مـــشتق مـــن كلمـــتين **Excitation** و **Dimer**). وتتكون من خليط مـــن غـــازات نـــشطة، مثـــل الفلـــور والكلور وغازات خاملة مثل الأرجـــون والكـــر يبتـــون أو الزينـــون، مثـــل فلوريـــد الأرجون **ArF** وفلوريد الزينـــون **XeF** وفلوريـــد الهيـــدروجين **HF**. وتعمـــل هـــذه الليزرات على النمط النبضي ولها قدرات عاليـــة فى المنطقـــة فـــوق البنفـــسجية عنـــد الطول المـــوجي (لليـــزر **ArF**) **193** نـــانومتر، **XeF 354** نـــانومتر، مـــع العلـــم أن ليزرات بخار الذهب وبخار النحاس تنتمي لهذه المجموعة من الليزرات.

### 3- المرنن الضوئي [التجويف الرنان] **Optical Resonator**

يلعب المرنن الضوئي دورا مهمـــا فى نظـــام الليـــزر، كمـــا ذكرنـــا أنـــه هـــو التجويف أو الوعاء الحاوي والمسئول عـــن عمليـــة التكـــبير، وهـــو يـــسمح بتواجـــد ذبذبات الليزر عند الترددات المختارة التي تكون نماذج الموجة الموقوفـــة. يطلـــق علـــى هذه الترددات الأنماط المحورية. بالرغم أن الوسط الفعال يبعـــث علـــى مـــدى طيفـــي عريض، المرنن يتيح فعل ليزري على نمط واحد أو قليل مـــن الأنمـــاط المحوريـــة داخـــل هذا الاتساع الطيفي. وكنتيجة لذلك يكون لـــضوء الليـــزر عـــرض طيفـــي أضـــيق بكثير (وحيد الطول الموجي) عن ذلك للوسط الفعال.

مما سبق نستطيع القول بأن حزمة الليزر سوف تكون متوازية وشدها موزعة بانتظام عبر الحزمة. ولكن هذا في الواقع ليس كذلك. ونظرا لأن الضوء موجة، فإنه يحيد أثناء الانتشار هذا الحيود يعطى انفراجا لكل حزم الضوء ذات المقطع العرضي المحدود وبسبب الحيود فإن توزيع شدة الضوء الذي ينتشر إيابا وذهابا بين المرآتين لا تكون منتظمة. فقط توزيعات مجال معين تعيد نفسها مرة أخرى بعد الحيود أثناء الانتشار بين المرآتين ويطلق عليها الأنماط المستعرضة للمرنن Transverse Modes of Resonation. توزيع شدة النمط المستعرض يعتمد على بارامترات المرنن مثل نصف قطر انحناء المرآتين والمسافة الفاصلة بينهما والفتحة الواضحة للمرنن. أدنى رتبة للنمط المستعرض تسمى نمط TEMoo (Transverse Electro Magnetic Field) وتوزيع شدها القطري يكون جاوسيا. (كما في شكل 23). وانفراج حزمة النمط TEMoo أقل ما يمكن. لذا يمكن تركيزه على بقعة بؤرية صغيرة جدا.




شكل (23) الخصائص الطيفية لليزر.

يمكن أن يعمل تجويف الليزر بطرق تذبذبية متنوعة، فعندما تنتقل الأمواج إيابا وذهابا بين المرآتين الطرفيتين التي تفصلهما مسافة $L$ تتكون أمواج موقوفة عندما يكون

$$L = n\,\lambda/2$$

حيث $n$ عدد صحيح

ويعطى تردد التذبذب من المعادلة:

$$\upsilon = \frac{nc}{2L}$$

حيث c سرعة الأمواج فى وسط التجويف وتـدعى الموجـات المـستقرة الـتي تمتلك ترددا يحقق هذه العلاقة والمتجهة باتجاه محور الليـزر (عموديـا علـى مـستوى المرايا، الأنماط المحوريـة Axial Modes لليـزر. وهـى تـشابه الأنمـاط الاهتزازيـة الحرة لمتذبذب توافقي مـضمحل. ويكـون الفـرق بـالتردد بـين نمطـين محـوريين متعاقبين هو

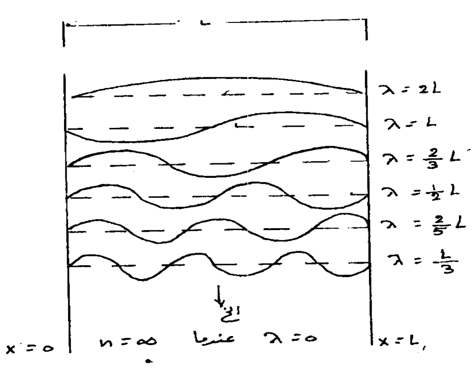
$$\upsilon_{n+1} - \upsilon_n = \Delta\upsilon = \frac{c}{2L}$$

ويكون هذا الفرق بمثابة مقلوب زمن الذهاب والعودة.

فى ليزرات غازية نموذجية طولها 1m ومعامل انكـسارها 1 تكـون قيمـة هـذه الفترة الترددية أي الفترة الترددية الفاصلة بين النمطين المتعاقبين مساوية للمقدار

$$1.5 \times 10^8\ sec^{-1} = 150\ MHz$$

وبذلك سيحوى الليزر عددا من الخطوط الطيفية تكون مفـصولة عـن بعـضها البعض بالفترة الترددية C/2L




شكل(24)يبين الموجات الموقوفة داخل التجويف.

إن الأشعة الكهرومغناطيسية توجد داخـل التجويـف علـى صـورة مسلسـل مـن الأمـواج الموقوفـة Standing Stationary Waves الـتي يتحـدد طـول أمواجها (أو ترددها) بأبعاد التجويف. ولكـي يسـتمر ويتواصـل وجـود موجـة في اتجاه المحور يجب أن يكون بعـد أو طـول التجويـف L باتجـاه المحـور X مسـاويا لأعداد صحيحة من أنصاف الأطوال الموجية (λ/2) أي أن

$$L = n(\lambda/2)$$

أما بالنسبة للأمواج التي لا تحقـق المعادلـة فإنهـا تتلاشـى خـلال تـداخلات هدامة ويبين الشكل(24) الأمواج الموقوفة.

## 4.5 السلوك الزمني Temporal Behavior

يمكن التحكم في الاعتماد الزمني لضوء الليزر بطـرق مختلفـة. أبسـط طريقـة هي التحكم في الضخ نفسه. في حالة الخارج المستمر CW، يكـون الضـخ المسـتمر ضروريا، ومن جهة أخرى في حالة الخارج النبضي لابـد أن تكـون الإثـارة نبضـية. الضخ النبضي يمكن أن ينتج نبضات ليزر ذات أطـوال مختلفـة، في حـدود عشـرات قليلة من النانو ثانية إلى قليل من الميكـرو ثانيـة. وبالاستعاضـة عـن ذلـك يمكـن استخدام إثارة مستمرة مع جهاز لإعاقة حزمة الليزر لإنتـاج نبضـات مـن الضـوء. وباستخدام غالق ميكانيكي لإعاقة حزمـة الليـزر بالتنـاوب يمكـن الحصـول علـى نبضات ليزر على فترات من 0.1 ثانية فما أعلى.

## 5.5 مفتاح Q Switching

تسمح تقنية مفتاح Q بتوليد نبضة ليزرية ذات عمر قصير جـدا(يتـراوح بـين قليل من النانو ثانية إلى قليل من عشرات النانو ثانية) وقدرة عاليـة جـدا (قليـل مـن الميجا واط إلى عشرات قليلة مـن الميجـاواط). في نظـام مفتـاح Q يوضـع مغلـق

كهروضوئى Electric optic shutter فى التجويف بين المرآتين. يغلق هذا المغلق عندما تكون المادة الفعالة مثارة. عندما تتجمع إثارة كافية يفتح المغلق بسرعة أي فى زمن حوالي نانوثانية ( $10^{-9}$ ثانية)، حينئذ ستطلق الطاقة المخزونة على هيئة نبضة ضوئية واحدة شديدة ومركزة. مبدأ هذه التقنية كما يلي: نفرض أن مغلق Shutter ادخل إلى التجويف الليزرى فعندما يكون المغلق مغلقا لا يحدث فعل ليزرى وبذلك يمكن أن يصل الإسكان المعكوس إلى قيمة عالية جدا. وعندما يفتح المغلق فجأة تنطلق الطاقة المخزونة على هيئة نبضة قصيرة ومركزة. وحيث إن هذه الطريقة تتضمن فتح وغلق Switching التجويف بمعامل Q من قيمة صغرى إلى قيمة عالية لذا تعرف بتحويل Q Switching Q. وبالأخذ فى الاعتبار أن فتح المغلق يستغرق وقتا قصيرا جدا بالمقارنة بزمن بناء النبضة (Fast Switching) فإن الخارج يتكون من نبضة عملاقة واحدة، فى حالة التشغيل البطيء Q Switching يمكن أن تتكرر النبضات.

## 6.5 توليد النبضة العملاقة Giant – Pulse Generation

يعد النبضان غير المنتظم فى الليزر عامل إزعاج كبير فى كثير من التطبيقات العملية وخصوصا فى مجال الاتصالات. يمكن التخلص من هذه الاضطرابات وفى الوقت نفسه زيادة الشدة القصوى زيادة كبيرة وذلك بتنظيم السيطرة على عملية إعادة التوليد فى الليزر. ويتم إنجاز ذلك عن طريق فصل (إبعاد) العاكسات عن البلورة الياقوتية ومن ثم إدخال مغلق Shutter سريع بين البلورة الياقوتية وإحدى العاكسات. فعندما يكون المغلق مقفلا يمكن بناء وتجميع الإثارة فى الياقوت إلى درجة عالية مقارنة فيما لو كان المغلق مفتوحا. ولذا يحفظ المغلق مغلقا حتى تصل الإثارة إلى مستوى عال، وعندما يفتح تتجمع الأشعة بصورة سريعة وتفرغ كل الإثارة الفائضة فى زمن قصير جدا، وتكون شدة النبضة القصيرة الناتجة كبيرة تفوق تلك النبضة الناتجة من ليزر اعتيادي وميضي بعدة مرات.

وبسبب قدرة النبضة الفائقة تدعى الومضة الناتجة بهذه الطريقة النبضة العملاقة Giant Pulse.

## 7.5 التوليف Tuning

يمكن توليف الليزر **Tuned** داخل عرض الانبعاث الطيفي للوسط الفعال. فى المبدأ كل الليزرات يمكن توليفها، لكن عمليا، المدى الطيفي للتوليف هو الذي يقرر صلاحيته لهذا الغرض. عرض معظم ليزرات الغاز خط ضيق جدا ولذا فإن هذه الليزرات لا تصلح للتوليف. ونظرا لأن ليزرات الصبغة تتميز بكبر العرض الطيفي للانبعاث فهي أهم أنواع الليزرات من ناحية التوليف. يمكن توليف ليزرات الصبغة من فوق البنفسجي حتى تحت الحمراء فى المدى الطيفي من **311** نانومتر إلى **1285** نانومتر باستخدام صبغات مختلفة. صبغات معينة مثل **Scintillator, Coumasin, Xantherne** تعطى مدى فوق البنفسجي والمرئي (**311** – **700**نانومتر). وتغطى صبغات أخرى مثل **Polymethyene** مدى تحت الحمراء (**650** – **1285**نانومتر).

## 8.5 شدة حزمة الليزر Intensity of the Laser Beam

تعرف شدة حزمة الليزر بأنها القدرة مقسومة على مساحة الحزمة. ونظرا لأنه يمكن تركيز حزمة الليزر إلى بقعة صغيرة جدا، يمكن الحصول على شدات عالية جدا بتركيز حزمة الليزر. فمثلا شدة حزمة ليزر الأرجون قطرها **5** ملليمتر وقدرها واحد واط تكون حوالي **5** واط /سم$^2$ . وعند تركيزها عند قطر **30** ميكرومتر تزداد الشدة بمقدار مليون مرة أي مليون واط /سم$^2$.

تتميز حزم ليزرات النبضة بمحتوى الطاقة فى النبضة وفترتها الزمنية. يمكن الحصول على القدرة القصوى للنبضة بقسمة الطاقة على فترة النبضة. ويطلق

على الطاقة لكل وحـــدة المســـاحة Fluence. والفلـــوينس Fluence لكـــل وحـــدة زمن هو الشدة. وحيث إن ليزرات النبضة تعطى طاقة فى فتـــرة زمنيـــة قصـــيرة جـــدا، فإنها عموما، تنتج شدات أعلى بكثير من تلك التي تنتجها ليـــزرات الموجـــة المســـتمرة CW. من ناحية أخرى، يمكن أن تعطى طاقـــات عاليـــة جـــدا لقـــدرتها علـــى تحريـــر شعاع باستمرار إلى أي فترة نرغبها.

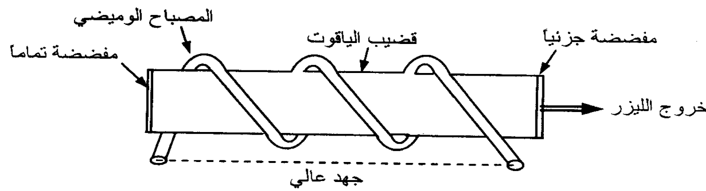
حيث إن الشدة تعتمد على مساحة بقعة الليزر الـــتي تـــتغير مـــع المســـافة مـــن المصدر فإنها ليست خاصية ترتبط بالمصـــدر. الســـطوع Brightness الـــذي يعـــرف بأنه القدرة المنبعثة من المصدر لكل وحدة مساحة مصدر لكـــل وحـــدة زاويـــة مجســـمة Solid Angle من الانبعاث هي خاصية للمصدر ولا تعتمد علـــى المســـافة. بالنســـبة للمصدر المترابط مثل الليزر، يتناسب انفراج الحزمة عكســـيا مـــع قطـــر الحزمـــة. أي أن الزاوية المجسمة للانبعاث تتناســـب عكســـيا مـــع مســـاحة الحزمـــة. إذن ســـطوع الليزر مستقل عن حجم الحزمة، لكن يعبر فقط علـــى مثـــال: ســـطوع ليـــزر He:Ne قدرته واحد مللي واط (طـــول موجتـــة 600 نـــانومتر) حـــوالي $3X10^5$ واط/ســـم$^2$ استراديان Steradians ($W/Cm^2Sr$). وبالمقارنة لضـــوء الشـــمس الـــتي تبعـــث فى زاوية مجسمة 2Sr تكـــون تقريبـــا $10^3$ $W/Cm^2Sr$. أي أن ليـــزر He:Ne الصـــغير يكون أكثر من سطوع الشمس بمقدار حوالي 300 مرة كونيـــا. لهـــذا الســـبب ينبغـــي على الإنسان أن لا يعرض عينيه إلى شعاع الليزر.

## 9.5 أنواع الليزرات Types of Lasers

### 1- ليزرات الحالة الصلبة Solid State Lasers

ليزرات الحالة الصلبة هي تلك الليزرات التي تكون المـــادة الفعالـــة فيهـــا إمـــا بلورة عازلة أو زجاجا. وهذه الليزرات غالبا ما تكون فيهـــا المـــواد الفعالـــة أيونـــات ثنائية داخل البلورات الأيونية. ويعتبر ليزر الياقوت شـــكل(25) مـــن أهـــم ليـــزرات

الحالة الصلبة، كما يعتبر من أول الليزرات ومـــازال يســتعمل حــتى الآن. والـيــاقوت (قرنفلي اللون) هو أحد الأحجار الكريمة التي توجد فى الطبيعــة ويتكــون مــن بلــورة الكورندم $Al_2O_3$. وقد حلت أيونــات الكــروم $Cr^{3+}$ محــل أيونــات $AL^{3+}$. ويــتم الحصول على مادة الليزر عن طريق إنماء البلورة مــن منصــهر مــزيج مــن $Cr_2O_3$ [0.0596~ بالوزن] و$AL_2O_3$. ويتم إثارة بلورة الياقوت عن طريــق تشــعيعها مــن مصباح وميضى (مصباح الزينون الوميضى بضــغط 500torr ~ ). وليــزر اليــاقوت عبارة عن أسطوانة من الياقوت قطرها حــوالي cm1 ويتــراوح طولهــا بــين 2cm إلى 10cm ومحاطة بملفات المصباح الوميضى. الأوجه النهائية للبلــورة مصــقولة بصــورة متوازية ومطلية بمادة عاكسة تسمح فقط بمرور جــزء صــغير مــن الضــوء الســاقط عليها. وعند إشعال المصباح الوميضى يبعث وميضــا ذا لــون أخضــر وأزرق لفتــرة زمنية قصيرة، وتعمل أيونات الكروميوم فى اليــاقوت علــى امتصــاص هــذا الضــوء خلال نطاقاتها الامتصاصية العريضة وبذلك يرتفع عــدد الأيونــات إلى داخــل العديــد من مستويات الطاقة العريضة الواقعة فوق مستوى الأرضــي. ومــن هــذه المســتويات يمكن لهذه الأيونات أن تغير حالتها آنيا إلى مستويات حادة أدنى منــها حيــث تتجمــع فيها لتصبح هذه المســتويات ذات كثافــة تعداديــة أعلــى مــن الكثافــة التعداديــة للمستوى الأرضي، وبذلك يصبح الياقوت مكــبرا عنــد الطــول المــوجي $6943A^0$ . وليزر الياقوت يعمل كليــزر ذي المســتويات الثلاثــة وهــذه المســتويات موضــحة بالشكل ( 19 )ويحــدث الفعــل الليــزرى عــادة بالانتقــال مــن المســتوى $E_2$ إلى المستوى $E_1$.



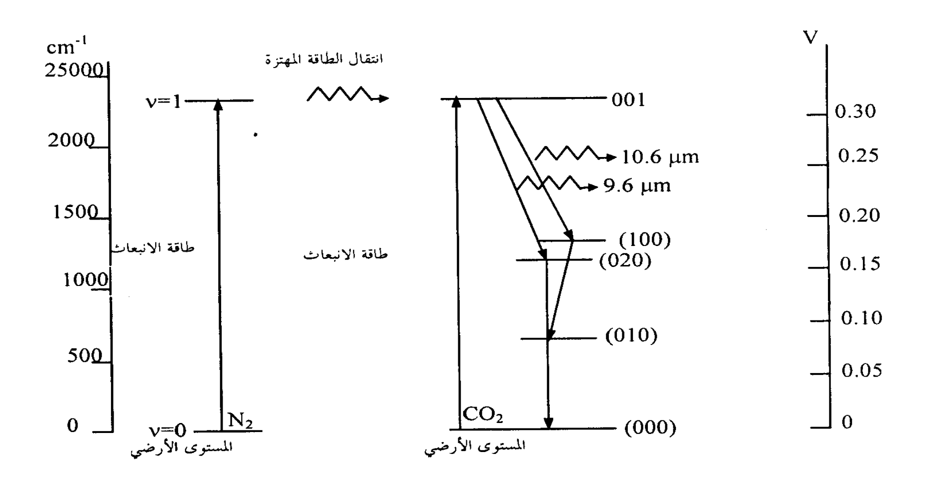

شكل(25) يمثل رسماً تخطيطياً لليزر الياقوت.

جدول (12) ليزرات الحالة الصلبة

| الاسم | المادة الفعالة | مدى القدرة نبضي أو موجة مستمرة | خصائص الشعاع، الطول الموجي | التطبيقات |
|---|---|---|---|---|
| الياج YAG | أيونـــات $Nd^{3+}$ في المادة المضيفة يـــاج YAG أربعــــــة مستويات | موجة مستمرة مـــن 10W – 0.2mw تحويل -Q 1mj-1jلكـــــل نبضة | حزمة ذات نوعيــة جيدة 1064nm (IR)وأيضا SHG 532nm (مضاعفة التردد) | قياس المسافة مؤشر للرؤية الإلكترونيــة SHG مؤشـــــــر للرؤية البشـ |
| اربيوم Erbium هوليوم Holmium | أيونـــات $Er^{3+}$ و $HO^{3+}$في مـــواد مضــــيفة مختلفــــة (YAG, YLF Glass)أنظمــــــة المستويات الثلاثة | تحويلــــــة -Q QSwitched 1mj-100mj | غالبا آمـــن للعـــين أطوال موجية بـــين 1.4µm إلى 1.9 µm | لم يستقر تجاريا بعد، لكن سوف يحل محل الياج فى كثير مـــن التطبيقات التى فيها يمكن تعرض العـــين البشرية للإصابة |
| تيتانيوم–سافير Titanium-Sapphire | أيونات Ti تيتانيوم مـــــع ســـــافير ($AL_2O_3$) كمادة مضيفة | يضخ بواسطة ليزر فقط يحتاج إلى ليزر آخر للضخ | يمكن وضعه بـــين 650 نـــــانومتر و1050 نـــــانومتر تقريبا | كل التطبيقات التي تحتاج ليزر بنبضات قصــــــــــيرة للغاية(0.01ps) |
| اليـــــاقوت أو العقيق Ruby | +Cr3مطعــــــــم بالســـــافير نظــــام المستويات الثلاثة | 1mj إلي 10j خــــلال بعــــض عشرات النانوثانية | 694 نــــــانومتر بروفيل الحزمة غير جيد، غير مستقر | مشـــــهور اليــــوم بأهميتــــه التاريخيــــة حيث إنه أول ليزر تم بناؤه |

## ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Laser

يعد ليزر $CO_2$ أحــــد أمثلــــة ليــــزرات الغـــــازات الجزيئيــــة عاليــــة القــــدرة. بالإضافة إلى مستويات الطاقة الإلكترونيــــة توجـــد أيضـــا مســــتويات طاقــــة تذبذبيــــة وأخرى دورانية. خارج ليزر $CO_2$ هـــو نـــاتج الانتقـــالات بـــين مســـتويات الطاقـــة التذبذبية والدورانية التي ينتج فوتونا ذا طاقة منخفضة (طول موجي طويل).




شكل(26) يبين مستويات الطاقة فى ليزر ثاني أكسيد الكربون.

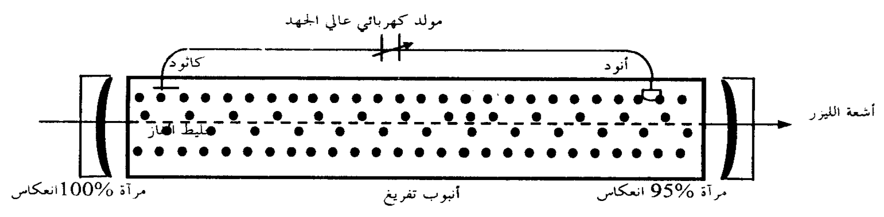
تضخ الجزيئات من حالة الطاقة الأرضية إلى حالة طاقة أعلى حيث تنحل Decay إلى حالة تذبذبية شبه مستقرة Metastable كما يظهر فى شكل(25). وينتج الإسكان المعكوس بين هذه الحالة والتي طاقة تذبذبية أدنى وهذا يعطى خطي ليزر بين 10.6 و 9.6 ميكرومتر ويوجد حول هذين الخطين الرئيسيين العديد من الخطوط الواضحة نتيجة لوجود عدد من مستويات الطاقة الدورانية المسموحة عند كل حالة تذبذبية. من المعروف أن ليزر ثاني أكسيد الكربون يستخدم عادة خليطا من ثلاثة غازات هي النيتروجين (13%Ne) والهليوم (82%He) وثاني أكسيد الكربون (5%$CO_2$)، حيث يمتص النيتروجين الطاقة وتنقل جزيئات النيتروجين المثارة طاقتها إلى ثاني أكسيد الكربون والهليوم هنا هو العامل المؤثر على حفظ فرق الإسكان المعكوس بين مستويات الطاقة المعنية لبقاء استمرارية الفعل الليزرى.

تصمم ليزرات ثاني أكسيد الكربـــون بطـــول يصـــل إلى عـــدة أمتـــار وقطـــر يتجاوز 10cm. وتتوفر هذه الأنواع من الليزرات الضـــخمة بقـــدرة خارجـــة تصـــل إلى عدة مئات من الواط وذات تشـــغيل مســـتقر وبطـــول مـــوجي 10.6μm. كمـــا يعتبر غاز النيتروجين مانحا جيدا للطاقة ويلائـــم العديـــد مـــن الجزيئـــات مثـــل $Cs_2$, $N_2O$, CO كما يمكن استخدامه وحده كمادة فعالـــة لتوليـــد الليـــزر، حيـــث يعتـــبر $N_2$ مصدرا للأشعة المتلاحمة لعدة نطاقات ترددية وأكثرهـــا وضـــوحا تلـــك المحصـــورة فى الحيزμm 0.87, 0.89, 1.05, 1.23. كما تقـــوم الانتقـــالات الذريـــة والأيونيـــة للنيتروجين بتجهيز تشكيلة مختلفة أخرى مـــن الخطـــوط الليزريـــة. أمـــا بخـــار المـــاء فيمكن استخدامه كمادة فعالة لتصـــميم ليـــزرات جزيئيـــة بعـــدة أطـــوال موجيـــة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء الدنيا. كما تم تصـــميم ليـــزرات غازيـــة، اســـتخدم فيهـــا ذرات وأيونات الهالوجينات والغازات الجويـــة كمـــواد فعالـــة. كمـــا تم اســـتحداث الاهتزازات الليزرية فى كثير من المواد وهى فى الحالة البخارية وأهمها مادة الزئبق.

## ليزرات الهليوم – نيون Helium – Neon Lasers

يحتوى ليزر He – Ne على خليط من 10 أجزاء من الهليوم وجـــزء مـــن غـــاز النيون فى أنبوب مغلق. يتم الضخ بواســـطة الفعـــل الليـــزرى فى ذرات النيـــون. يـــتم الضخ بواسطة إثارة التيار المباشر (DC)، عادة 1600 فولـــت و5 مللـــي أمـــبير. تثـــار ذرات الهليوم إلى مستوى طاقة شبه مستقر نتيجة لمرور التيـــار خـــلال خلـــيط الغـــاز. تنتقل الطاقة بعدئذ إلى مستوى طاقة أعلى فى ذرة النيـــون حيـــث يحـــدث الإســـكان المعكوس بين حالات الطاقـــة المثـــارة فى ذرة النيـــون. ويعـــد ليـــزر He :Ne أحـــد الليزرات الغازية التي تضخ كهربائيا والذي ينتج عادة حزمة حمـــراء الطـــول المـــوجي لها 632.8 نانومتر كما ينتج أيضا بعـــض الخطـــوط فى منطقـــة تحـــت الحمـــراء عنـــد أطوال موجية تبلغ 1.10 ميكرومترا، 3.39 ميكرومترا، يصـــمم هـــذا الليـــزر عـــادة ليمنع التذبذب فى المنطقة تحت الحمراء.

قد صمم أول ليزر He –Ne علـــى أيـــدي جافـــان وبينيـــت وهـــاروت عـــام 1961م وكان يتكون من أنبوبة تفريغ زجاجية طولها واحـــد متـــر وقطرهـــا الـــداخلي 1.5 cm تحتوى على هليوم ضغطه حوالي 1 ملليمتـــر زئبـــق ونيـــون ضـــغطه حـــوالي 0.1 ملليمتر زئبق ومرآتين متوازيتين كما فى الـــشكل( 27) . ويظهـــر فى شـــكل(23) مستويات طاقة الهليوم والنيون.




شكل (27) ليزر هليوم نيون.

جدول(13) ليزرات الغازات

| الاسم | المادة الفعالة | مدى القدرة نبضى أو موجة مستمرة | خصائص الشعاع، الطول الموجي | التطبيقات |
|---|---|---|---|---|
| هليوم – نيون Helium - Neon | خليط من الغازات. يمتص الهليوم الطاقة من التيار ثم يمررها إلى النيون | فقط Cw 0.2mw-20mw | جيد جدا. أحيانا أكثر من 99% TEMOO 633nm | قيـــاس المـــسافات، مؤشـــر، قياســـات زاويـــة، مبـــاني وإنشاءات، تعليم |
| أرجون Argon | أرجون متأين | Cw من 10إلي 25w. نبضي | جيد، أحيانا خطوط متعـــددة. أطـــوال موجيـــة متعـــددة يحدث لهـــا الفعـــل الليزرى فى نفـــس الوقت UV حـــتى 514nm | يقـــيس مـــسافات كبيرة، مساعد اتجاهي (مثال فى المطارات)، التصوير الهولوجرافى، يقيس سريان الغازات والسوائل |

تابع جدول (13)

| الاسم | المادة الفعالة | مدى القدرة نبضي أو موجة مستمرة | خصائص الشعاع الطول الموجي | التطبيقات |
|---|---|---|---|---|
| هليوم -كادميوم Helium-Cadmium | عندما يحل He-Ne مع الكادميوم محل Ne | 10mw إلي 1m w | جيد جدا حيث إن تكلفة الليزر من 5 إلى 10 مرات أكثر من He-Ne | مثل He-Ne، لكن فى التطبيقات التي تحتاج طول موجي أقصر |
| ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide | غازات $CO_2$ | من 10mw حتى 25kw نبضي أيضا | فقير 10.6µm بعيدا عن IR جزء من الطيف. يلزم استخدام بصريات خاصة(غالبا قاعدة جيرمانيوم) | نتيجة للكفاءة العالية تستخدم عادة فى الأغراض الصناعية |

جدول (14) بعض الليزرات الأخرى.

| الاسم | المادة الفعالة | مدى القدرة نبضي أو موجة مستمرة | خصائص الشعاع، الطول الموجي | التطبيقات |
|---|---|---|---|---|
| ليزرات الصبغة Dye Lasers | صبغات التفلورية فى المذيبات العضوية | متوسط قدرة 10mw – 5mw جميع أنواع النبضات | تتراوح من UV حتى غالبا IR | الأطياف العلمية |
| ليزرات الاكزيمر Excimer Lasers | خليط من الغازات الخاملة والهالوجينات | نبضات من 10mj إلى أعلى من عدة j أثناء 5-10ns | حتى مدى فوق البنفسجي من 150 إلى 350nm | جراحة العيون (والصناعات الإلكترونية) |
| ليزرات الإلكترونات الحرة Free electron Lasers | تيار يتحرك من الإلكترونات | عدة w إلى أعلى من kw | لا توجد مدارات ليزر فى الصيغة التقليدية | فى الأبحاث |

# التطبيقات الطبية لليزر
# Medical Applications of Laser

## 1.6 تأثيرات شعاع الليزر على الأنظمة البيولوجية
## Effects of Laser Radiation on Biological Systems

يتميز شعاع الليزر عن معظم الأشعة المعروفة الأخرى بالاتجاهية الحادة لحزمته الضوئية، أي أن زاوية انفراجها تكون صغيرة جدا. ينتج عن ذلك، لليزرات ذات الطاقة الابتدائية العالية، انتقال كميات إضافية من الطاقة إلى الأنظمة البيولوجية. امتصاص الأنظمة البيولوجية لأشعة الليزر هو السبب الرئيسي لإتلافها، وبدون هذا الامتصاص لا يحدث التلف. يحدث الامتصاص على المستوى الذرى أو الجزيئي، وعملية الامتصاص يحددها الطول الموجي. هذا يعني أن الطول الموجي سوف يحدد النسيج ونوع الليزر المسئول عن إتلافه. والآليات التي تحدث التلف، نتيجة امتصاص الأنسجة أشعة الليزر واحدة لكل الأنظمة البيولوجية، وتشمل تفاعلات حرارية أو عمليات كيموضوئية. درجة مسئولية أي من هذه الآليات فى التلف ترتبط بوجود عوامل فيزيائية معينة لمصدر الإشعاع، وأكثر هذه العوامل أهمية هو الطول الموجي، زمن النبضة، شدة الشعاع والتعرض الإشعاعي.

هكذا نخلص من ذلك إلى أن العوامل الأساسية التي تحدد تأثير أشعة الليزر على الأنسجة هي:

### 1- بالنسبة لأشعة الليزر

أ - قدرة شعاع الليزر (الوحدة هي الواط).

ب- مدة التعرض لأشعة الليزر .

جـ- الطول الموجي لأشعة الليزر.

د- كثافة القدرة (القدرة / سم$^2$).

### 2- خصائص الأنسجة

أ - معامل امتصاص الأنسجة لطول موجي معين.

ب- حجم النسيج المتأثر بالأشعة.

جـ- الموصلية الحرارية للأنسجة.

ينتج عن الجزء الممتص من أشعة الليزر تأثيرات كيموضوئية أو/ وتأثيرات حرارية اعتمادا على الطول الموجي لأشعة الليزر وطبيعة النسيج. وتحت ظروف معينة يمكن أن ينتج تفلور النسيج.

ليزرات تحت الحمراء والمرئية تنتج فقط، على وجه العموم، تأثيرات حرارية. ليزرات فوق البنفسجية تنتج التأثيرات الكيموضوئية والحرارية.

التأثيرات الكيموضوئية والحرارية لهما أهمية كبيرة فى التطبيقات الجراحية والعلاجية، فى حين التفلور يفيد فى تشخيص حالة النسيج. على سبيل المثال، يمكن اكتشاف الخلايا السرطانية حتى فى مراحلها الأولى بواسطة التفلور الأحمر المميز لها سواء فى الخلايا الخام أو المحملة بصبغة مناسبة ومشععة بليزر الأشعة فوق البنفسجية.

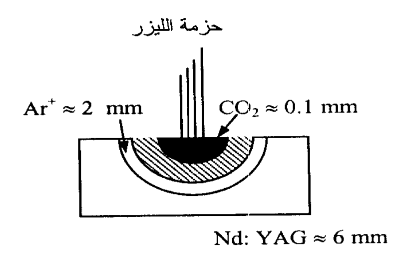
تتميز التأثيرات الحرارية بارتفاع فى درجة حرارة النسيج. وتتضمن التأثيرات الكيموضوئية إما تغير فى أسلوب أو نمط التفاعل الكيمو حيوي نتيجة وجود مجال كهرومغناطيسى أو تحلل ضوئي نتيجة الفوتونات عالية الطاقة التي

تحطم الروابط الجزيئية. التفاعلات الكيموضوئية لا تسبب على وجه العموم، أى ارتفاع ذي أهمية فى درجة الحرارة. وثمة نوع آخر من تأثيرات ضوء الليزر هو الذي يحدث نتيجة تكون البلازما عند الشدات العالية من حزم الليزر. على سبيل المثال، فى حالة ليزر **Nd:YAG** بتحويل **Q**، **1mw** من القدرة عندما تركز إلى بقعة **10** ميكرومتر تعطى شدة تقدر بحوالي **$10^{12}$ watt/cm$^2$** (واط\سم$^2$) والتي تناظر مجالا يقدر بحوالي **30** مليون فولت لكل سم. عند مثل هذه المجالات الكهربائية العالية تنفصل الإلكترونات فى الذرات والجزيئات بعيدا مسببة التأين ومنتجة البلازما. هذه الآلية لها أهميتها فى التطبيقات الطبية.

يعد عمق اختراق أشعة الليزر فى الأنسجة من أهم الخواص الضوئية التي تحدد ملاءمة الليزر للعملية الجراحية. عمق الاختراق الأكبر يكون مرغوبا فيه للتخثر (التجمد) **Coagulation** فى حين يكون عمق الاختراق القصير أفضل فى قطع الأنسجة. وعمق الاختراق يكون عكس معامل امتصاص أشعة الليزر فى الأنسجة، ويعرف العمق حيث تقل شدة الليزر إلى **37%** من قيمتها عند سطح النسيج. يأتي هذا التعريف من القانون التجريبي للامتصاص. ويبين الجدول **(15)** عمق الاختراق ومعامل امتصاص الأنسجة لبعض الليزرات، يوضح شكل **(28 )** عمق الاختراق.

جدول (15) يبين معامل الامتصاص وعمق الاختراق فى النسيج لليزرات المختلفة

| الليزر | الطول الموجي | عمق الاختراق فى النسيج | معامل امتصاص النسيج سم-1 |
|---|---|---|---|
| Nd:YAG | 1.06 ميكرومتر | 2.5 ملليمتر | 4 |
| Er:YAG | 2.94 ميكرومتر | 4 ميكرومتر | 2700 |
| Ruby | 694.3 نانومتر | 2 ملليمتر | 5 |
| He-Ne | 632.8 نانومتر | 2.5 ملليمتر | 4 |
| Argon | 514.5 نانومتر | 0.7 ملليمتر | 14 |
| $CO_2$ | 10.6ميكرومتر | 16 ميكرومتر | 600 |




شكل ( 28) يبين رسمًا تخطيطيًا لعمق الاختراق.

## 2.6 التأثيرات الحرارية Thermal Effects

عندما يمتص النظام البيولوجي كمية طاقة إشعاعية كافية فإن ذلك سوف يزيد تذبذب جزيئات النظام ويترتب على ذلك زيادة في حرارته. وكثير من تلف الليزر يكون نتيجة تسخين النسيج أو الأنسجة الماصة للأشعة. هذا التلف الحراري يكون عادة محصورا في حدود مساحة تمتد بجوار الموقع الذي يمتص طاقة الليزر ويتمركز على حزمة التشعيع. تظهر الخلايا داخل هذه المساحة خصائص الحرق وينتج تلف الأنسجة أولا من تغير طبيعة البروتين **From Denaturation of Protein** وكما أوضحنا أعلاه حدوث آليات التلف الثانوي في تأثيرات الليزر يمكن ربطه بقدرة الليزر. إذا سلط نظام ليزر الموجة المستمرة أو نظام ليزر النبضة الطويلة على النسيج، بعدئذ وبسبب التوصيل، تزداد تدريجيا مساحة النظام الذي عانت ارتفاعا في حرارتها. ينتج عن هذه الرقعة الحرارية المنتشرة زيادة في منطقة التلف عندما يرتفع عدد أكثر فأكثر من الخلايا فوق طاقته الحرارية. حجم صورة الحزمة الضوئية له أيضا أهمية كبيرة نظرا لأن درجة الانتشار الخارج يكون دالة لحجم وأيضا درجة حرارة المساحة الأولى للنسيج الساخن. هذا النوع من الضرر الحراري شائع الظهور في حالة التعرض لليزرات الموجة المستمرة أو الليزرات ذات النبضات الطويلة.

التأثير الفيزوحيوى لليزر علـــى الأنســـجة يعتمـــد علـــى الارتفـــاع فى درجـــة حرارة النسيج. ويتناسب الارتفاع فى درجـــة الحـــرارة تناســـبا طرديـــا مـــع الطاقـــة المترسبة وعكسيا مع الكتلة المسخنة وكذلك على حرارتها النوعيـــة. بالنســـبة لطاقـــة ما، يقل الارتفاع فى الحرارة إذا كان زمـــن تفاعـــل حزمـــة الليـــزر أطـــول وكانـــت موصلية النسيج أعلى. كل من هذين العاملين يساهم فى فقد الحرارة لكل النسيج.

إذا زادت درجـــة حـــرارة النســـيج عـــن 100°C فإنهـــا تتعـــرض للبخـــر أو الاستئصال اعتمادا على معدل ترسـيب الطاقـــة (شـــدة حزمـــة الليـــزر)، وتكـــون النتيجة هي تكون حفر أو حزوز أو قطع نتيجـــة لإزالـــة النســـيج. إذا كانـــت درجـــة الحرارة قريبة مـــن 100°C يـــتفحم النســـيج أو يتبخـــر جزئيـــا مؤديـــا إلى تفريـــغ Vacuolization. فى مدى درجات الحـــرارة مـــن 60°C إلى 100°C يحـــدث تخثـــر (تجلط) النسيج من 40°C إلى 60°C ينتج تحول فى طبيعة بروتين النســـيج وأقـــل مـــن 40°C وأعلى من درجـــة الحـــرارة المحيطـــة ينـــتج Hyper metabolism أيـــض أو تمثيل مفرط فى الأنسجة الحية.

## 3.6 التأثيرات الكيموضوئية Photochemical Effects

العمليـــات الكيموضـــوئية تشـــمل الامتصـــاص الجزيئـــى للطاقـــة والتفاعـــل الكيميائي الناجم عن ذلك. وتنشأ هذه العملية خـــلال امتصـــاص ضـــوء ذي طاقـــات فوتونية معينة (أي أطوال موجية معينة)، بعـــض الأنســـجة البيولوجيـــة مثـــل الجلـــد، عدسة العين وخصوصا الشبكية قد تظهر تغيرات غير عكســـية تنـــتج عـــن التفـــاعلات الكيموضوئية أثناء التعرض الطويل للمستويات المنخفضـــة أو المتوســـطة مـــن الضـــوء. هذه التغيرات قد تنتج تلفا للنسيج إذا كانـــت فتـــرة الإشـــعاع زائـــدة أو إذا كـــان التعرض القصير متكررا على فترات طويلة. بعـــض التفـــاعلات الكيموضـــوئية الناتجـــة عن التعرض لليزر قد تكون غير عادية أو قد تكون عملية عادية مبالغ فيها.

## 4.6 التأثيرات البيولوجية لأشعة الليزر على العين
## Biological Effects of Laser Radiation on Eye

من المهم أن نذكر مرة أخرى أن اختراق ضوء الليزر فى أنسجة أي عضو حيوي يعتمد على طول موجي معين ويبين شكل ( 29 ) امتصاص الأطوال الموجية المختلفة فى العين.

الضوء ذو الطول الموجي أقل من 300 نانومتر يمتص أساسا فى القرنية وبين 300 – 400 نانومتر امتصاصه ضعيف فى القرنية ويمكن أن يصل إلى العدسة حيث يتم امتصاصه. فى المنطقة المرئية من 400 – 700 نانومتر، والمنطقة تحت الحمراء القريبة من 700 – 1400 نانومتر على التوالي، تنفذها عمليا كل أنسجة العين ماعدا الشبكية تمتصها. من 1400 نانومتر حتى 3 ميكرومتر يخترق الضوء مرة أخرى حتى العدسة وبعد 3 ميكرومتر تمتص القرنية الضوء كما يبين الشكل(29).

استنادا إلى امتصاص الأطوال الموجية المختلفة فى العين نستطيع تحديد التلف الذي تحدثه هذه الأطوال الموجية على الأجزاء المختلفة فى العين.

### أ- تلف القرنية Corneal Damage

أشعة الليزر فوق البنفسجية وتحت الحمراء البعيدة (أكبر من 1400نانومتر) تحدث تلفا للعين أولا فى القرنية. أقصى تعرض مسموح MPE لكل حالة، يكون أقل تماما من الطاقة المطلوبة لإنتاج أي نوع من التلف المذكور أدناه.

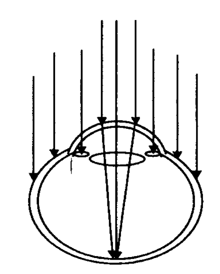
المنطقة فوق البنفسجية {180 – 400 نانومتر}: يأتي التلف من امتصاص أجزاء خلايا القرنية الحساسة انتقائيا لضوء UV. هذا الفعل ليس حراريا ولكن كيموضوئى. يمتص الكثير من البروتينات وجزيئات أخرى (RNA, DNA) الضوء فوق البنفسجي فتتحول طبيعتها بسبب امتصاصها هذه الأشعة . ويمكن أن يسبب التعرض الزائد لضوء UV، ظاهرة الخوف من الضوء Photophobia،

واحمرار العين، دمــوع، تفريــغ discharge وHaze Stromal (ضـــباب النســـيج الجدارى)... إلخ.

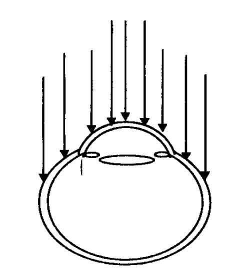
تحت الحمـــراء {1400نـــانومتر إلى 1 ملليمتـــر} ليـــزر $10600CO_2$ نـــانومتر تسبب الفقد فى شفافية القرنية أو عدم انتظام السطح نتيجة التعـــرض الزائـــد للأشـــعة تحت الحمراء، تسخين الدموع Tears وماء أنسجة القرنية بالأشـــعة تحـــت الحمـــراء، وعلى عكس الفعل الكيموضوئى للأشعة فوق البنفسجية.

## ب- تلف الشبكية Retinal Damage

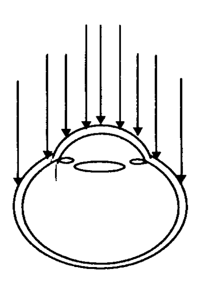
{400 – 1400 نانومتر} يحدث الأذى للشبكية نتيجة تركيـــز الضـــوء المرئـــي أو تحت الحمراء على بقعة متناهية الصغر (صورة) علـــى الشـــبكية. ويمكـــن أن تزيـــد القرنية والعدسة التعرض الإشعاعي لليـــزر علـــى الشـــبكية بمقـــدار تقريبـــا 100000 مرة بسبب فعل هذا التركيز. والتلف الأكثر خطـــورة علـــى الرؤيـــة ســـوف يحـــدث عندما يتركز الليزر على الجزء المركزي مـــن الشـــبكية. ونظـــرا لأن الحركـــة الثابتـــة للعين تقاوم التعرض للأشعة المرئية القوية لفترات طويلـــة مـــن الـــزمن فـــإن الإصـــابة الأكثر خطورة سوف تحدث من التعرض لخارج ليـــزري مرتفـــع قصـــير النبضـــة (أي Q-Switched–). الأشعة ذات القدرة العالية فى فترة قصـــيرة لـــديها القـــدرة علـــى إحداث ثقب فى الشبكية.[انظر شكل 29]



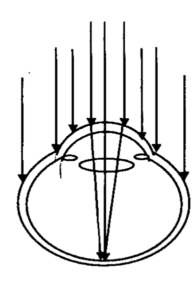
فوق البنفسجية الطويلة والضوء المرئي تتركز
عند القرنية والعدسة وتمتص عند الشبكية



امتصاص فوق البنفسجية القصيرة يتم
أساسا عند القرنية



امتصاص تحت الحمراء البعيدة عند القرنية



تمتص طاقة تحت الحمراء القريبة عند الشبكية

**شكل (29)يبين تأثير الأطوال الموجية المختلفة على العين.**

## 5.6 التأثيرات البيولوجية لأشعة الليزر على الجلد
## Biological Effects of Laser Radiation on Skin

بصفة عامة، يمكن أن يتحمل الجلد التعرض لأشعة الليزر بقدر أكبر من تحمل العين... التأثير البيولوجي للتشعيع الزائد للجلد بالليزرات التي تعمل فى المنطقة المرئية من 400-700 نانومتر ومنطقة تحت الحمراء القريبة من 700 إلى 1060 نانومتر يمكن أن تتفاوت من احمرار معتدل إلى بثرات مؤلمة. إذا كانت كثافة التشعيع عالية للغاية يحدث تلوين، و قرح وبثرات للجلد كما يمكن حدوث تلف للأعضاء التحتية.

التعرض لمستويات معتدلة من أشعة UV(200-400 نانومتر) يمكن أن يؤدى إلى عمليات كيموضوئية ضارة وتكون الآليات البيولوجية لإصلاحها بطيئة (تستغرق عدة ساعات إلى أيام) وأكثرها شيوعا هي احمرار الجلد أو ما تعرف، عامة، بحروق الشمس. ومقدار الضرر يختلف بين الأفراد ويعتمد على عوامل كثيرة تشمل الطول الموجي الخاص، التعرض الإشعاعي الكلى وفترة الشفاء والاستعاضة. التعرض قصير المدى المتكرر للأشعة فوق البنفسجية عند مستويات أقل من MPE (أقصى تعرض مسموح به) يجب أن يقدر على أساس التعرض اليومي الكلى. فضلا عن ذلك، إذا تعرض شخص لأشعة الليزر أثناء استخدامه له مع تعرض إضافى للأشعة فوق البنفسجية من مصدر (مثل أشعة الشمس، المصباح الشمسي، وأقواس اللحام)، هذه يجب أخذها فى الاعتبار عند تقدير الحاجة الملائمة لوقاية الجلد والعين. والهدف المطلوب هو أن يكون التعرض اليومي الكلى أقل من MPE. إذا كانت كثافة قدرة الليزر عالية للغاية، الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تسبب حروقًا حادة، بثرات وتقرحات للجلد.

حروق الشمس (Erythema)، سرطان الجلد وشيخوخة الجلد كلها متوقعة بسبب التعرض للأشعة فوق البنفسجية (230 - 380 نانومتر). وتلف الجلد الخطير ينتج عن امتصاص أشعة UVB(280 – 315 نانومتر).

جدول (16) ملخص للتأثيرات البيولوجية المصاحبة للتعرض الزائد للضوء.

| المنطقة الطيفية | للعين | الجلد |
|---|---|---|
| الأشعة فوق البنفسجية UVC (100نانومتر-280نانومتر) | التهاب قرني ضوئي Photokeratosis | احمرار الجلد Erythema تعجيل عملية شيخوخة الجلد |
| الأشعة فوق البنفسجية B 280-315نانومتر | نفس الشيء | نفس الشيء |
| الأشعة فوق البنفسجية A 315-400نانومتر | عتامة عين كيموضوئية تلف كيموضوئي وحراري للشبكية | عتامة الصبغة وتفاعلات كيموضوئية |
| الأشعة المرئية 400- 780نانومتر | تلف كيموضوئي وحراري للشبكية | عتامة الصبغة وتفاعلات كيموضوئية |
| تحت الحمراء الحارقة A 790-1400نانومتر | عتامة العدسة وحرق الشبكية | حروق الجلد |
| تحت الحمراء الحارقة B 3 1.40-ميكرومتر | حرق القرنية فقط | حروق الجلد |

## 6.6 تطبيقات الليزر فى التشخيص والعلاج

## Applications of Laser in Diagnosis and Therapy

### طب العيون Ophthalmology

من أهم الخصائص الرئيسية لأشعة الليزر بأنواعها المختلفة التي جعلت منها أداة طبية فعالة، الاتجاهية الحادة لحزمتها. أصبح الليزر الآن شائع الاستخدام فى علاج أمراض العيون فهو يستخدم منذ فترة طويلة فى معالجة انفصال الشبكية ومعالجة أمراض الشبكية الناجمة عن مرض السكر. ويتم العلاج عادة باستخدام ليزر الأرجون $Ar^+$ الذي يبعث خطين عند الطولين الموجيين 488 نانومتر و 515 نانومتر. ينفذ حوالي 95% من هذه الأشعة من العين إلى الشبكية عند هذين

الطولين الموجيين وتمتص حزمة الأرجون الزرقاء /الخضراء أساسا بالميلانين فى الصبغة الطلائية للشبكية. وينتج التلف بسبب التأثير الحراري وينتج التخثر Coagulation من تحول طبيعة البروتين. فى هذه الحالة تركز حزمة الليزر ($Ar^+$) على شبكية العين من خلال عدسة العين إذ أن الحزمة الخضراء يمتصها بقوة الميلانين ويؤدى التأثير الحراري الناتج إلى إعادة ربط الشبكية تخثر أوعيتها. كما يستخدم الليزر فى علاج تكور القرنية وأيضا من أهم استخدامات الليزر فى جراحة العيون لعلاج المياه الزرقاء Glaucoma الذي يتسبب عنه فقدان تام للبصر وتدمير العصب البصري. وينشأ هذا المرض عن الزيادة الكبيرة فى ضغط السائل داخل كرة العين نتيجة لارتشاح الأوعية الدموية الذي يسببه مرض كالسكر.

علاج هذا المرض سهل بأشعة الليزر التي تستخدم لحرق بعض الأغشية الداخلية فى العين لعمل فتحة صغيرة يمكن من خلالها تسريب الضغط المرتفع فى العين فتعود العين طبيعية. وقد أمكن هذا العلاج أن ينقص كثيرا من حالات العمى التي كان ينتهي إليها مريض السكر. كما يستخدم أيضا ليزر أيون الكريبتون $Kr^+$، وهذا يعطى خارجا عند أربعة أطوال موجية: أحمر عند 6471 نانومتر وأزرق عند 4765 نانومتر وأخضر عند 520.8 نانومتر وأصفر عند 568.2 نانومتر. والأجهزة المتاحة تستخدم الطول الموجي الأحمر الذي يمثل من 50% إلى 60% من الخارج الكلى لليزر أيون الكريبتون. وفى بعض الحالات تستخدم ليزرات الحالة الصلبة Nd:YAG الياج، وأيضا ليزر الاكسيمر.

## طب الأذن والحنجرة Otolaryngology

فى الوقت الحاضر زاد استخدام الليزر فى طب الأذن والحنجرة حيث إن له أهمية خاصة فى هذا الفرع من الجراحة ويستخدم الليزر فى إزالة وتحديد الأورام غير الخبيثة فى الحبال الصوتية للحنجرة ويمكن بذلك تقويم الحبال الصوتية للحنجرة وتنقية الصوت ويستخدم فى وقف نزف دوالي المريء. واستخدام الليزر

له أهمية خاصة فى جراحة الأذن والحنجـرة، نظـرا لأنـه يتعلـق بأعـضاء القـصبة الهوائية، البلعوم والأذن الوسـطى إذ أن هـذه الأعـضاء لا يمكـن الوصـول إليهـا بسهولة، وغالبا يستخدم ميكروسكوب مع الليزر فى هـذه الحالـة ويفـضل اسـتخدام ليزر $CO_2$ على الجراحات التقليدية للأسباب التالية:

1- يخفض النـزيف نظرا لأن الأوعية الدموية حتى 0.5 ملليمتر تلتئم.

2- يمكن عمل القطـع بدقـة عاليـة وبـالأخص عنـدما توجـه الحزمـة بواسـطة ميكروسكوب ملائم (الجراحة الدقيقة بالليزرLaser Microsurgery ).

3- إمكانية إجراء العملية فى المناطق المتعذر الوصـول إليهـا. وهكـذا مـن الناحيـة العملية أي منطقة من الجسم يمكن مشاهدها بواسطة نظام بـصري ملائـم (مثـال عدسات أو مرايا) يمكن إجراء العملية فيها باستعمال الليزر بحزمة.

4- النقص الكبير فى النـزيف الدموي والناتج عن كـوى الأوعيـة الدمويـة بـالليزر (إلي حد قطر الوعاء الدموي بحدود 0.5mm ~ ).

5- التلف المحدود للأنسجة المجاورة (بضع عشرات من المايكروميترات).

6- وعلى الرغم من هذه الفوائد يجـب أن نتـذكر أن هنـاك صـعوبات لاسـتعمال الليزر فى الجراحة وهى:

- الثمن الباهظ وتعقيد وحدة الجراحة بالليزر.
- السرعة القليلة لمشرط الليزر.
- مشاكل السلامة المرافقة لمشرط الليزر.
- تستخدم ليزرات غاز ثاني أكسيد الكربـون الليـزرات أيـون الأرجـون وأيـضا ليزر الياج.

### – أمراض النساء Gynecology

فى أمراض النساء يستخدم عادة ليزر $CO_2$. ويستخدم هذا الليزر فى الغالب مع ميكروسكوب (منظار المهبل). وتستخدم حزمة الليزر المركزة فى الجراحة بدلا من المشرط التقليدي أو الكهربائي. الطول الموجي لحزمة الليزر 10.6 ميكرومتر يمتصها الماء بشدة، ويمتص 90% منها بواسطة 0.1 ملليمتر ماء. يسخن شعاع الليزر الماء داخل وخارج الخلايا حتى نقطة الغليان مسببا Explosion of the Cells انفجار الخلايا. ويمكن تمييز ثلاث مناطق لحروق كثافة القدرة العالية.

1– تكوين حفرة نتيجة لتبخير الأنسجة.

2– يحدث تفحم الأنسجة Charring of the Tissues من الامتصاص المباشر للحزمة.

3– منطقة النكروز (نخر) تمتد إلى النسيج المحيط بسبب توصيل الحرارة.

قد ينتج عن التعرض لحزمة ليزر $CO_2$ تأثيرات بيولوجية تعتمد على كثافة القدرة. وكثافة قدرة بين 50 إلى 150 وات/ سم$^2$، ينتج عنها تحلل كرات الدم الحمراء لاستئصال الأورام بطريقة إزالة طبقة بعد طبقة. وعندما يستخدم الليزر فى الاستئصال تكون كثافة القدرة اللازمة أكثر من 1000 وات/ سم$^2$.

يستخدم شعاع الليزر فى إزالة الترهل الزائد للأنسجة فى بعض مناطق الجسم وفى جراحة التخصيب الدقيقة وإعادة تركيب قناة فالوب. وتستخدم أحيانا ليزرات الأرجون والياج.

### – الأمراض الباطنية Gastroenterology

أتاح تطور المناظير الطبية بأشكالها المتنوعة، والتقدم فى صناعة الألياف البصرية، الفرصة لنقل أشعة الليزر إلى أعضاء الجسم الداخلية وبدون الحاجة

لعمليات جراحية، وبذلك أمكن تطوير الكثير من الجراحات، ومعالجة الكثير من الأمراض داخل القناة الهضمية ومنها علاج قرحات المعدة النازفة وتقرحات الجزء العلوي من الأمعاء والمتمثلة فى تخثير الأوعية الدموية النازفة ووقف التقرحات الموضعية وقد فتح بذلك مجالا واسعا فى تطبيقات أخرى فى هذا المجال مثل وقف النزيف فى آفات القولون، وتفتيت حصى المرارة. وفى مجارى الصفراء وتفتيت أو قطع جزء من الكبد التالف وتستخدم ليزرات الأرجون والياج وثاني أكسيد الكربون.

## – جراحة العظام Surgery of Bones

استخدام الليزر فى الوقت الحاضر من قبل جراحي العظام بدأ بتزايد تزايدا ملحوظا، ومازالت الأبحاث جارية على قدم وساق لتطوير استخدامه فى هذا المجال أكثر فأكثر.

يستعمل ليزر ثاني أكسيد الكربون عند استبدال المفاصل الصناعية، والشعاع يجب أن يكون بقدرة كافية لتبخير المادة الصمغية، ولكن ليس بدرجة بحيث تؤذى العظم مع ضرورة التبريد المستمر للمنطقة لمنع احتراق العظم، كذلك يتوجب سحب الدخان.

يستخدم منظار المفاصل لإيصال شعاع ليزر ثاني أكسيد الكربون إلى المفصل، لصهر وتشكيل الغضروف. إزالة الترسبات الكلسية وإزالة الشظايا العظمية. ويستخدم فى جميع هذه الحالات ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون.

## – الأورام الخبيثة Cancer

فى هذا المجال نسلط الضوء على العلاج بأشعة الليزر باستخدام الفعل الضوئي لإحداث التغيرات الكيميائية وبدون الطاقة الحرارية لأشعة الليزر. وهذه

الخاصية لأشعة الليزر أتاحت الإمكانية لقتل الخلايا السرطانية فقط بتشخيصاها وانتقائها بدون التأثير على الخلايا السليمة المحيطة بها، وتسمى هذه التقنية الجديدة: العلاج بديناميكية الضوء.

لقد أثبتت تطورات هذا المجال أنه عند اختيار الليزر بتردد مناسب مع صبغة دوائية قابلة للتركيز فى الخلايا السرطانية دون السليمة ولها القدرة على امتصاص الطول الموجي المعين من أشعة الليزر، هذا الثنائي يعطى العلاج الانتقائي الذي طالما حلم به أخصائيو علاج السرطان. هذه الطريقة لا تقف عند نوع من أنواع السرطان بل تضم أنواعا عديدة مختلفة.

فى الوقت الحالي دخلت طريقة العلاج بالديناميكية الضوئية لعلاج الأمراض السرطانية. بهذه الطريقة تستخدم مشتقة الهيمتوبورفرين **Hematoporphyrin** (**Derivative of HPD**) (من صبغة الدم المتواجدة طبيعيا) ويحقن بها المريض. ودرجة امتصاص **HPD** بالخلايا السرطانية أكثر كثيرا من درجة امتصاصها فى الخلايا الطبيعية وهى تتركز وتمتص لمدة تتراوح بين **24 - 48** ساعة فى الأنسجة السرطانية. وبينما ترفضها الأنسجة والخلايا السليمة بأقل من ذلك. عند هذه المرحلة يسلط شعاع ليزر بخار الذهب ذو الطول الموجي **630nm** على الأنسجة السرطانية المحملة بالصبغة. هذا الطول الموجي قريب جدا للطول الموجي **628nm** حيث قمة امتصاص **HPD**. وكنتيجة لذلك يعانى **HPD** تحللا ضوئيا مولدا أكسجين أحادى الذي يسبب نيكروزس **Necrosis** للخلايا السرطانية أساسا بسبب تفتت الغشاء. لقد وجد أن **Photodynamic Therapy PDT** يستخدم بنجاح فى حالة سرطانات الرئة والصدر.

يتم الاستئصال الضوئي فى مدى الشدة من $10^{10}$ إلى $10^{4}$ **Wat/cm$^{2}$** وزمن التفاعل فى المدى من $10^{-10}$ إلى $10^{-3}$ ثانية. حاليا معظم أعمال الاستئصال تتم بليزرات الاكسيمر فوق البنفسجي. بالرغم من المعارضة، يعتقد أن الأطوال الموجية فى مدى الطيف فوق البنفسجي المفرغ، يكون الاستئصال ناتج عن تحلل فوتوكيميائى. هذا يعنى أن الفوتونات ذات الطاقة أعلى من **4ev** تحلل الجزىء

بكسر الروابط وتضيف طاقة زائدة للقذف. هذه أساسا ليست عملية حرارية.

### – طب الأسنان Dentistry

يستخدم الليزر فى علاج أمراض الأسنان وذلك فى المجالات التالية:

تطهير وتعقيم الأسنان والضروس وعمل الثقوب فى الضروس تمهيدا لحشوها، تثبيت كبارى الأسنان، تثبيت أطقم الأسنان الصناعية.

### – المسالك البولية Urology

تستخدم ليزرات أيون الأرجون وغاز ثاني أكسيد الكربون وأيضا الياج فى جراحات المسالك البولية وتفتيت واستئصال أورام المثانة، حصوات المسالك البولية، وإزالة تضخمات الخصى.

### – علم الجلد Dermatology

أحد التطبيقات المهمة لليزر فى علم الجلد هو إزالة الوشم Tattoos لقد استخدم ليزر $CO_2$ ببعض النجاح لكنه لسوء الحظ تسبب فى وجود آثار واضحة مكان الوشم. والجهاز الأفضل هو ليزر الياقوت بتحويل Q والطول الموجي لليزر الياقوت (694 نانومتر) يناظر منطقة الحد الأدنى لامتصاص الهيموجلوبين هذا مهم جدا لكي نتفادى امتصاص الدم للحزمة. فى الواقع الضوء الأحمر ينفذ خلال الجلد وإلى النسيج التحتي له. تستخدم أيضا ليزرات الأرجون أو الياج لإزالة وتبخير الوشم الجلدي وإزالة الأورام العرقية الدموية واستئصال الدوالي الوريدية كما يستخدم ليزر ثاني أكسيد الكربون فى حالة التقرحات الجلدية الدهنية المتعددة.

### – جراحة الأعصاب Neurosurgery

يستخدم ليزر $CO_2$ فى استئصال الأورام السحائية وتقويم التشوهات فى

الوجه والجمجمة ويستخدم أيضا ليزر الياج بالإضافة إلى ليزر ثاني أكسيد الكربون لاستئصال أورام المخ والحبل الشوكي والعمود الفقري. يستخدم ليزر الأرجون مع ليزر الصبغات في علاج سرطان الرئة وتشخيصه أيضا، إصلاح الأوعية القلبية.

جدول ( 17 ) التطبيقات الطبية لليزرات المختلفة

| ليزر | الطول الموجي | النمط الزمني | القدرة | الطاقة / نبضة | زمن النبضة | المساحة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 10.6µm | CW | 25W | _ | _ | جراحة عامة<br>أمراض نساء<br>أنف وأذن وحنجرة<br>علم الجلد..إلخ<br>جراحة الأعصاب |
| | | نبضة فائقة | 80W | _ | 0.05-1sec | أنف وأذن وحنجرة..إلخ |
| Ho:YSGG | 2.1µm | نبضي | _ | 250mj | 250 µsec | ترقيع الأوعية |
| Er:YAG | 2.94µm | نبضي | _ | 100mj | 100 µsec | جراحة القرنية |
| Nd:YAG | 1.06µm | CW | 70W | _ | _ | ارتفاع حرارة الليزر<br>طب المعدة والأمعاء<br>ترقيع الأوعية<br>علم المجارى البولية..إلخ<br>ترقيع الأوعية<br>جلوكوما (المياه الزرقاء) |
| | | Pulsed | _ | 500mj | 100 µsec | |
| | | تحويل-Q | _ | 5mj | 15nsec | استئصال المحفظة الخلفية<br>طب الأسنان |
| | | نموذج الغلق | _ | 0.5mj | 20-30psec | استئصال المحفظة الخلفية |
| Diode | .904nm | CW | 100mW | _ | _ | الحث الحيوي (تخفيف الآلام) |

تابع جدول (17)

| He-Ne | 632.8nm | CW | 5mW | _ | _ | شفاء الجروح<br>تخليق مولدة الغراء |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بخار الذهب | 628nm | شبه CW | 10W | _ | _ | علاج ضوئي ديناميكي |
| الصبغة | 694nm | نبضى | _ | 10-150mj | 800nsec | علاج الجلد<br>تفتيت حصي الكلي |
| كريبتون | 647.1nm | CW | 1W | _ | _ | علاج العيون |
| أيون<br>الأرجون | 514.5nm<br>488nm | CW<br><br><br><br>نبضات فائقة | 3-10W<br><br><br><br>5W | _ | _<br><br><br><br>1msec<br>1sec | علاج العيون، ترقيع<br>الأوعية، تقويم<br>العضلات بالليزر<br><br>علاج الجلد<br>جراحة الأعصاب |
| XeF | 351nm | نبضي | _ | 100mj | 20nsec | علاج الجلد<br>ترقيع الأوعية<br>الأعصاب |
| XeCl | 308nm | نبضي | _ | 25-100mj | 200nsec | ترقيع الأوعية |
| KrF | 248nm | نبضي | _ | 5mj | 25nsec | ترقيع الأوعية |
| ArF | 193nm | نبضي | _ | 100mj | 10nsec | انكسار<br>تقويم القرنية<br>جراحة القرنية |

## 7.6 مستويات الأمان لليزر Laser Safety Levels

الليزرات قادرة على إحداث تلف خطير للأنسجة. بسطوع أو لمعان ليزر He-Ne ذي قدرة 1 مللي واط يكون أكبر بحوالي 1500مرة عن سطوع ضوء مصباح تنجستن قدرته 100 واط وأكبر بحوالي 50 مرة تقريبا عن سطوع الشمس. لذلك يجب أن نتعامل مع الليزرات بحرص وحذر شديدين كي نتجنب الأخطار الناجمة عن التعرض لأشعة الليزر. وعلى خلاف أشعة X أو جاما، الخطر من شعاع الليزر يكمن كلية فى حزمة معرفة فى حدود ضيقة. وكما ذكرنا سابقا فإن شعاع الليزر له أثارا مدمرة على العين والجلد. لذلك يجب أن نجنب عيوننا وجلدنا التعرض لأشعة الليزر.

### معايير الأمان لليزر Laser Safety Standards

يوجد فى المملكة المتحدة معيار بريطاني بعنوان أمان أشعة منتجات وأنظمة الليزر Radiation Safety of Laser Products and Systems منشورة فى ثلاثة أجزاء: الجزء الأول عام والجزء الثاني مخصص لاحتياجات تصنيع منتجات الليزر، أما الجزء الثالث والأخير ترشيد للمستخدم.

### إرشادات السلامة والأمان

1- الانعكاس وخصوصا من الأجزاء المعدنية يكون خطيرا تماما مثل الحزمة المباشرة.

2- إن كنت تلبس نظارات فاحذر الانعكاس فيها من حزمة الليزر خلفك.

3- باب الدخول إلى المنطقة التى توجد بها ليزر ذو قدرة عالية يجب أن يغلق إلكترونيا.

4- حزمة الليزر أو أي انعكاس محتمل يجب منعه من التسرب خارج منطقة الليزر المغلقة.

5- لا تقضى وقتا لست فى حاجة إليه فى منطقة الليـــزر أثنـــاء تشـــغيله ويجـــب أن لا يتواجد سوى المسئولين.

6- إذا أردت أن تجرى بعض التعديل أو الضبط للجهاز تأكد أن كـــل فـــرد موجـــود يعلم بما سوف تقوم به لكي يأخذ الاحتياطات اللازمة.

7- تأكد أن حزمة الليزر لن تصدم أي مادة قابلة للاحتراق مثـــل الملابـــس، الحـــوائط الخشبية أو الورق.

8- كن دائما حريصا على تطبيق شروط السلامة والأمان عند ضـــبط حزمـــة الليـــزر النبضي للأشعة تحت الحمراء باستخدام ورقة سوداء أو مادة مشابهة كهدف.

9- يجب أن لا توجه حزمة الليزر فى اتجاه الباب أو النافـــذة إذا كـــان هنـــاك احتمـــال وجود أشخاص خارج منطقة تحكم استقبال أشـــعة ليـــزر زائـــدة عـــن الحـــدود المسموح بها.

10- حزم الليزر التى تحمل عشرات الواط من القـــدرة الإشـــعاعية يمكـــن أن يـــنجم عنها حرائق لذا يجب عدم توجيهها جهة المواد القابلة للاحتـــراق مثـــل الخشـــب والورق والأقمشة ويجب تفادى أنابيب توصيل الغاز.

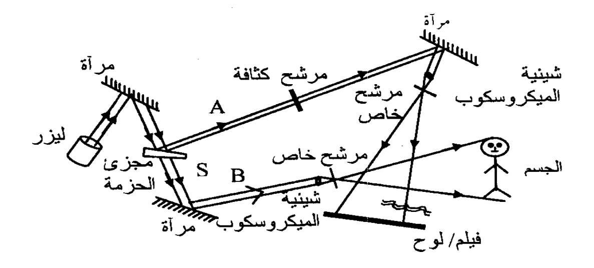
# الهولوجرافى (التصوير المجسم)
# Holography

## 1.7 طريقة عمل الهولوجرافى

وضع العالم الإنجليزي دينيس جابور Gabor (مجرى المولد) سنة 1948م الأسس الأساسية للهولوجرافى وقد منح جائزة نوبل فى الفيزياء سنة 1971م على اختراعه وتطويره طريقة الهولوجرافى. لم يكن جابور يفكر وقتذاك فى الهولوجرافى ولكن كان الدافع الرئيسي عنده هو تحسين التصوير بالميكروسكوب الإلكتروني. كان جابور يجرى تجاربه باستخدام مصباح قوس زئبق كمصدر للضوء ولم يلق عمله أي اهتمام حينئذ لدى الأوساط العلمية بسبب عدم وجود مصدر ضوئي ذي شدة واستقرار ملائمين. ظهور الليزر عام 1960م واستخدامه كمصدر ضوئي فتح المجال لإمكانية التصوير الهولوجرافى لما يمتلكه من صفات فريدة فى شدة وترابط شعاعه (الترابط المكاني والزماني). الهولوجرافى مصطلح يتركب من كلمتين يونانيتين الأصل، هولو وتعنى كامل، وجرافى وتعنى تسجيل ومعناهما معا التسجيل المتكامل. والتصوير الهولوجرافى يختلف تماما عن التصوير الفوتوجرافى التقليدي، ولا يحتاج التصوير الهولوجرافى إلى عدسات، بل يحتاج فقط إلى شعاع ليزر فى أبسط أشكاله.

بعد ظهور ليزر الياقوت حدث تقدم هائل فى كلا المجالين العلمي والتقني على أيدي ليث وأبا تيلس سنة 1962م اللذين طورا فكرة الهولوجرام البعيد عن

المحور. فى عـــام 1963م Upatnieks, E.N.leith صـــنعا هولوجرامـــا بـــالليزر لأول مرة، وقد أدى ذلـــك التقـــدم إلى ثـــورة هائلـــة فى تطـــوير الهولـــوجرافى. واقتـــرح Demisyuk من (U.S.S.R) عـــام 1962م تســـجيل هولـــوجرام فى وســـط ثلاثـــي الأبعاد. كانت فكرة Demisyuk هـــي: "علـــى خـــلاف الفوتـــوجرافى – الضـــوء التقليدي – الذي بواسطته يتم تسجيل المشـــاهد ثلاثيـــة الأبعـــاد فى أشـــكال ثنائيـــة الأبعاد – الهولوجرافى يسمح لنا بالحفاظ على المشـــاهد بأبعادهـــا الثلاثيـــة". ويعتمـــد الهولوجرافى أساسا على طريقة التداخل الضوئي لتســـجيل الأمـــواج الضـــوئية المشـــتتة من جسم مضاء بضوء مترابط بدرجة كافية. يتـــداخل الضـــوء المشـــتت مـــع موجـــة مترابطة معها فى الطور تسمى موجة المرجـــع Reference Wave. تتـــداخل الموجـــة المشتتة مع موجة المرجع المترابطة معها فى الطور (مرتبطة) إذا كانـــت الأمـــواج عاليـــة الترابط، فإنها تحدث تأثيرا ملحوظا علـــى توزيـــع شـــدة نمـــوذج التـــداخل النـــاتج، التسجيل الفوتوجرافى لهذا النموذج المسمى هولوجرام يحتوى معلومـــات كاملـــة عـــن كل من طور وسعة موجة الجسم المشتتة لتســـمح بإعـــادة بنائهـــا. يـــتم إعـــادة بنـــاء الصورة عندما يضاء الهولوجرام بالموجة المرجع. الملاحظة بـــالعين لجبهـــة الموجـــة المعـــاد تكوينها ، تعطى صورة الجسم غير المشاهد (غير مدرك أو غـــير المنظـــور) عمليـــا مـــن الأصل كما لو كان الهولوجرام يعمل كنافذة من خلالها يشـــاهد الجســـم الظـــاهر . فى مشاهدة الهولوجرام، المشاهد يتشجع عادة فى تحريك رأسه علـــى الجـــانبين وإلى أعلـــى




شكل (30) يوضح التركيب العملي المستخدم لتسجيل الهولوجرام النافذ.

وإلى أسفل. وبتحريك العين إلى أعلى وإلى أسفل أو على الجانبين نرى أبعاد الصورة وزواياها المختلفة وكأننا ننظر للجسم نفسه ولكن الصورة هنا تقديرية أي أننا لو حاولنا لمس الصورة باليد فلن نجد شيئا.

## 2.7 هولوجرام النفاذية Transmission Hologram

الشكل ( 30) يبين أساس عمل الهولوجرافى، حيث تقسم حزمة ليزر بواسطة مرآة نصف شفافة **S** إلى حزمتين، الحزمة **A** المنعكسة والحزمة **B** النافذة. تسقط الحزمة **A** مباشرة على لوح فوتوجرافى، فى حين تضيء الحزمة **B** الجسم المراد تصويره. وهكذا فإن الضوء المشتت من الجسم سوف يسقط أيضا على اللوح الفوتوغرافى الحساس كما هو موضح فى الشكل. ونتيجة لترابط الحزمة يتكون نموذج التداخل غاية فى التعقيد على اللوح الفوتوغرافى بسبب انطباق الحزمتين (الحزمة **A** التي يطلق عليها عادة حزمة المرجع **Reference Beam** والحزمة المتشتتة من الجسم). فإذا ظهر (حمض) **Developed** الفيلم ومن ثم فحص تحت تكبير عال، أمكن مشاهدة هدب التداخل (المسافة النموذجية بين هدبيتين متتاليتين حوالي (**1µm**). إن نموذج التداخل معقد جدا وعندما يفحص اللوح بالعين المجردة لا يظهر أنه يحتوى على صورة مشابهة للجسم الأصلي. ومع ذلك فإن هدب التداخل هذه تحتوى فعلا على سجل كامل للجسم الأصلي.

نفرض أن اللوح المظهر (المحمض) ارجع إلى مكانه الأصلي الذي كان يحتله أثناء عملية التعرض للأشعة، ورفع الجسم الذي كان تحت التصوير. وهنا سوف تتفاعل حزمة المرجع **A** مع هدب التداخل على اللوح لتحدث ثانية وراء اللوح حزمة حيود، تشبه تماما الحزمة التي تشتت من الجسم. والمشاهد الناظر على اللوح سوف يشاهد الجسم وراء اللوح كما لو أنه ما يزال هناك.

الأمر المثير والمدهش هو لو أننا حطمنا اللوح الحساس (الهولوجرام) إلى

قطع صغيرة متناثرة سوف نجد فى كل قطعة منها الصورة التقديرية نفسها كأن شيئا لم يتغير فيها ولكنك لو دققت النظر سوف تجد بأن إحدى الزوايا مفقودة.

ولتكوين هولوجرام يجب أن تتوفر الشروط التالية:

1- يجب أن تكون درجة ترابط ضوء الليزر بالقدر الكافي حتى تتكون هدب التداخل على اللوح الفوتوغرافي الحساس.

2- الأماكن النسبية لكل من الجسم واللوح الحساس وحزمة الليزر يجب أن لا تتغير أثناء تعرض اللوح الفوتوغرافي الحساس.

3- يجب أن تتوافر الخواص العامة التالية فى مادة تسجيل الهولوجرام.

أ- يجب أن يكون تحليل اللوح الهولوجرافى عاليا بدرجة كافية لتسجيل هدب التداخل الدقيقة.

ب- الحساسية العالية لجميع الأطوال الموجية المستخدمة.

جـ- مدى طيفي واسع.

## 3.7 هولوجرام الانعكاس Reflection Hologram

نحصل على هولوجرام الانعكاس بإسقاط حزمتي الجسم والمرجع على الجانبين المتعاكسين لوسط التسجيل أي أن الوسط الحساس (الفيلم الحساس) سيكون بين حزمة المرجع والجسم وهذا يستغني عن مجزئ الحزمة والمرايا . فى هولوجرام الانعكاس تتكون هدب التداخل موازية لسطح وسط التسجيل.

## 4.7 تصنيف الهولوجرام Classifications of Holograms

يصنف الهولوجرام فى عدد من الطرق المختلفة اعتمادا على سمكه وطريقة التسجيل وطريقة إعادة بنائه.

### 1-هولوجرام السعة Amplitude Hologram

هنا يسجل نموذج التداخل نتيجة الاختلاف فى كثافة وسط التسجيل وتبعا لذلك تتغير سعة الموجة المضيئة لإعادة إنتاج موجة الجسم المسجلة. على أي حال، طبقا لطبيعة امتصاص الهولوجرام كفاءة الحيود تكون أكثر من فقيرة.

### 2- هولوجرام الطور Phase Hologram

فى هذا النوع من الهولوجرام يحدث تعديل طور الموجة المضيئة نتيجة التباين إما فى سمك المستحلب أو فى معامل انكسار الوسط أو كليهما. هذا الهولوجرام يعطى كفاءة حيود أكبر من كفاءة حيود هولوجرام السعة.

## سمك مادة التسجيل Thickness of the Recording Material

### 1- الهولوجرام الرقيق أو المستوى

إذا كان سمك وسط التسجيل صغيرا مقارنة بالمسافة بين هدب التداخل، عندئذ يمكن اعتبار الهولوجرام رقيقا أو مستويا والذي يكون فى الواقع تراكب عدد من المحزوزات المستوية تفصلها مسافات مختلفة.

### 2 – الهولوجرام السميك أو الحجمى Thick or Volume Hologram

إذا كان سمك وسط التسجيل فى حدود أو أكبر من المسافة بين الهدب يسمى الهولوجرام – الهولوجرام السميك أو الحجمى _ ويمكن اعتباره كتراكب محزوزات ثلاثية الأبعاد. وعندما تكون الزاوية بين عددين موجيين متداخلين طولهما الموجي $\lambda$ هي $\theta$ ، تعطى المسافة $d$ بين الهدب من العلاقة

$$d = \frac{\lambda}{2}\sin\frac{\theta}{2}$$

عندما $\theta=1^o$ تكون المسافة بين الهدب حوالي 40 ميكرومتر وهـي قيمـة أعلـى مـن سمك المستحلب بمقدار 10 ميكرومتر. مثل هـذا الهولـوجرام لا يكـون علـى وجـه الخصوص حساسا للتوجيه الملائـم لإعـادة البنـاء المناسـب. إذا كـان المـستحلب سميكًا، الهولوجرام يعيد تركيب صور الجسم فقط عنـدما يـضاء فى الاتجـاه المناسـب. يجب أن يضاء الهولوجرام بطـرق مختلفـة اعتمـادا علـى مـا إذا كانـت الـصورة التقديرية أو الحقيقية هي المطلوب مشاهدقما.

جدول (18) يبين أقصى كفاءة حيود نظري للهولوجرام

| نوع الهولوجرام | النفاذية الرقيقة | | النفاذية السميكة | | الانعكاس السميك | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| التعديل Modulation | السعة | الطور | السعة | الطور | السعة | الطور |
| الكفاءة % | 6.25 | 33.90 | 3.70 | 100 | 7.20 | 100 |

## 5.7 خواص الهولوجرام وصورته

## Properties of Hologram and its Image

1- إذا وضع الهولوجرام بالطريقة الملائمة فى حزمة ضـوء تظهـر المعلومـات المختلفـة من الجسم كما هى فى الواقع تماما.

2– هولوجرام النفاذية يشبه النافذة، يشاهد منظـر الـصورة مـن خلفهـا فى الهـواء بنفس العمق ونفس التفاصيل كاملة. إذا حرك المـرء رأسـه فإنـه ينظـر حـول الصورة ويراها من مختلف الزوايا.

3– يمكن إعادة تركيب صورتين من هولوجرام واحد.

4– الخاصية الشيقة والمثيرة المهمة هي، إذا تحطم اللـوح الحـساس إلى قطـع صـغيرة متناثرة سوف نجد فى كل جزء منها الصورة التقديرية نفسها كـأن شـيئا لم يـتغير فيها ولكن إذا دققنا النظر سوف تجد أن إحدى الزوايا مفقودة.

## 6.7 مواد تسجيل الهولوجرافى
## Holographic Recording Materials

لا تكون أشكال التصوير الهولوجرافى واقعية إن لم تكن مادة التسجيل ملائمة لتسجيل نموذج التداخل. لا توجد مادة واحدة يمكن استخدامها لكل أنواع التصوير الهولوجرافى حيث إن كل نوع من هذا التصوير له شروطه الخاصة به وهذه تشمل:

1 – قوة تحليل عالية لتساعد على تسجيل حلقات التداخل الرقيقة.

2 – الحساسية العالية للأطوال الموجية المستخدمة.

3 – مدى طيفي عريض.

4 – سهولة الاستعمال والمعالجة.

5 – كفاءة حيود عالية.

المواد المستخدمة لهذا الغرض نذكر بعضًا منها باختصار فيما يلي:

### 1– المستحلب الفوتوجرافى هاليد الفضة
### Silver Halide Photographic Emulsion

تستخدم الأفلام والألواح الفوتوغرافية على نطاق واسع كمواد تسجيل للتصوير الهولوجرافى. ويعزى هذا الاستخدام واسع الانتشار لتنوعها ولسهولة تناولها والحصول عليها لكونها متوفرة تجاريا. يحتوى المستحلب على بلورات رقيقة من هاليد الفضة موزعة فى جيلاتين مرسب على لوح من الزجاج أو على فيلم بلاستيك. متوسط حجم حبيبات المستحلب الهولوجرافى يتراوح بين 0.08 إلى 0.03 ميكرومتر. لتقليل التشتت يجب أن يكون حجم البلورات أصغر من الطول الموجي للضوء المستخدم. يتراوح سمك المستحلب بين 5 – 15 ميكرومتر. يمكن استخدام هذه المادة لتسجيل كل من الهولوجرام الرقيق والهولوجرام الحجمى من النوعين السعة والطور.

## 2– التلوين الفوتونى Photochronics

هذه عبارة عن مواد تتغير ألوانها عكسيا عند تعرضـــها للإضـــاءة المناســـبة. مـــن أمثلة المواد غير العضوية بروميـــد البوتاســـيوم KBr وفلوريـــد الكالســـيوم المطعمـــة بأكاسيد الأرض النادرة الملائمـــة لـــذلك، ويضـــاف لـــذلك أيضـــا $SrTio_3$ المطعـــم بعناصر انتقالية.

## 3–جيلاتين الدايكرومات Dichromate Gelatin

هذه المواد تنتج هولوجرامات الطور مع امتصاص وتشتت ضوئي ضئيل.

## 7.7 تطبيقات الهولوجرافى Application of Holography

بفضل اكتشاف الليزر أصبح الهولوجرافى مجالا فـــاعلا فى البحـــوث التطبيقيـــة. وبعيدا عن التصوير فى ثلاثة أبعاد تعد تطبيقات الهولوجرافى كـــثيرة ويمكـــن تقســـيمها إلى المجموعات التالية:

### 1– تكوين الصور: وتشتمل هذه المجموعة على :

أ– تخزين المعلومات فى الكمبيوتر، بذلك ترتفع كفـــاءة وســـعة تخـــزين المعلومـــات فى ذاكرة الأجهزة الإلكترونية.

ب– فى الميكروسكوب أو المجهر: يمكن فحص ورؤية الخلايا الحيـــة بأبعادهـــا الثلاثـــة. وهكذا تمكن الباحثون من رؤية الخلايا والجسيمات الدقيقة.

### 2– تطبيقات لاتعتمد على تكوين صور

1– الفحـــوص غـــير الهدميـــة باســـتخدام طريقـــة قيـــاس التـــداخل الضـــوئي الهولوجرافى (تحليل التذبذب والإجهاد).

2- الفحوص الضوئية.

### 3- الهولوجرام كعنصر ضوئي

1- العدسات الهولوجرافية والمرايا ومحزوزات الحيود.

2- المرشحات فى العمليات الضوئية.

3- الرواسم الهولوجرافية.

تنطبق طريقة الهولوجرافى على كل الأمـواج، موجـات الإلكترونـات - أشـعة إكس - أمواج الضوء - الموجات الميكرونية وموجـات الصـوت شـريطة أن تكـون موجات مترابطة بقدر كاف لتكوين نمـوذج التـداخل المطلـوب، علـى أي حـال، الهولوجراف يكون أفضل فى المنطقـة الضـوئية مـن الطيـف الكهرومغناطيسـى. فى السنوات الأخيرة جذب التقدم المـذهل فى تقنيـة الهولـوجرافى الضـوئي باسـتخدام الليزر انتباه واهتمام العديد مـن البـاحثين. وقـد اسـتخدمت الهولـوجرافى كـأداة للقياس فى مجالات علمية وهندسية متنوعة. القيـاس بالتـداخل الضـوئي الهولـوجرافى Holographic Interferometer قـد اسـتخدم علـى نطـاق واسـع أيضـا فى الاختبارات غير الهدامة فى مجال الهندسة الطبية الحيوية. والميزة الأعظـم أهميـة لمقيـاس التداخل الضوئي الهولوجرافى هى أن التغير فى شـكل الأجسـام ذات الأسـطح غـير الملساء يمكن قياسه بدقة متناهية حتى الطول الموجي للضوء المستخدم.

## 8.7 الطرق المستخدمة للفحص الهولوجرافى
## Techniques of Holographic

### قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى ذي الزمن الواقعي
### Real-Time Holography Inter ferometry

إذا أعيد وضع الهولوجرام مرة ثانيـة فى مكانـه الأصـلي الـذي تم تسـجيله

عنده، فإنه يعيد تركيب موجة الجسم. إذا تغيرت موجة الجسم قليلا، التداخل بين الموجة المعاد تركيبها التابعة للجسم غير المشوه وموجة الجسم المشتتة يعطى نموذجا من الهدب يمكن استخدامه لقياس التغيرات فى شكل الجسم فى زمن واقعي Real-Time . على أي حال إعادة وضع الهولوجرام إلى مكانه الأصلي بدقة تقابله مشاكل عويصة.

## قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى مزدوج التعريض

## Double-Exposure Holography Interferometer

فى هذه الطريقة يسجل هولوجرامان على نفس اللوح الهولوجرافى الحساس، واحد للجسم فى حالته الأولى والآخر للجسم المشوه. هدب التداخل الناتجة من فرق المسار الضوئي بين التعريضين، تنتج عندما يضاء اللوح الهولوجرافى. وتعطى هدب التداخل الناتجة معلومات عن التشوه فى الجسم.

## الهولوجرافى التفاضلي الدقيق Microdifferential Holography

الهولوجرافى التفاضلي الدقيق هو نوع من طريقة التعريض المزدوج حيث تستخدم فيه موجة المرجع لتسجيل التعريض الثاني مما يجعله قادر على البقع الساكنة وتأثيراتها المتخفية. عندما يضاء الهولوجرام بموجة المرجع الأصلية، يعاد تركيب كل أمواج الجسم، موجة الجسم الثاني مع فرق فى الطور مقداره 180° عما كان عليه أثناء التسجيل. فى حالة الأجسام الساكنة، Interferogram الناتج سيكون خاليا من الهدب المعتمة التي تكون غالبة جدا فى قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى الاعتياد (التقليدي) يسبب التداخل الهدمى فى حالة الأجسام المتحركة الديناميكية نموذج الإزاحة يؤثر على لمعان الملامح المصورة. هولوجرافى التفاضل الدقيق شديد الحساسية للإزاحة الصغيرة للعناصر المشتقة القوية سواء كنا قادرين على التحليل أم لا.

## القياس بالتداخل الضوئي الهولوجرافى متوسط الزمن
## Time – Average Holographic Interferometry

تستخدم هذه الطريقة لقياس سعة التذبذب للأسطح (الأسطح ذات الانعكاس المنتشر). هنا يسجل الهولوجرام بزمن تعريض أطول بكثير من فترة التذبذب (هذه الطريقة ملائمة للأجسام المهتزة). ولهذه الطريقة قيود حيث لا يمكن قياس الإزاحة والطور الكبيرين.

## هولوجرامات الساندويتش Sandwich Holograms

الهولوجرام مضاعف التعرض له قيود عديدة **Limitations** مثل عدم الحساسية لإثارة الإزاحة والحاجة لتسجيل هولوجرامات منفصلة لمقارنة الحالات المختلفة للجسم. لتسجيل هولوجرام الساندويتش، تعرض أزواج من الألواح الفوتوجرافية فى نفس الوقت مع أسطحها المطلية بالمستحلب **Emulsion** مواجهة للجسم. تعطى اتحادات هذه الألواح الهولوجرافية المعرضة تحت ظروف مختلفة للجسم معلومات عن كل أو التشوهات الصغيرة الزائدة حول الجسم.

## المنحنيات المختلفة الهولوجرافية Holographic Contouring

تنتج هذه التقنية حلقات تداخل تمثل تقاطع الجسم ثلاثي الأبعاد مع مجموعة من الأسطح المستوية متساوية المسافات البينية التي تظهر الشكل الخارجي **Topography** للجسم.

## الهولوجرامات الملونة Color Holograms

صورة الجسم متعددة الألوان يمكن الحصول عليها من هولوجرامات الجسم المسجل باستخدام ثلاثة أطوال موجية منتقاة بعناية. عندما يضاء الهولوجرام بضوء مشتق من جميع الأطوال الموجية الثلاثة، الصور المعاد ترتيبها بألوان مختلفة تتراكب منتجة صورة متعددة الألوان.

## 9.7 التطبيقات فى المجال الطبي والبيولوجي

## Applications of Holography in Medicine and Biology

تقنية الهولوجرافى لها تطبيقات عديدة ومتنوعة فى المجال الطبي والبيولوجي. وقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى تتم دون أن تلامس الجسم وغير هدامة وتقدم مدى واسع من التطبيقات فى معظم المجالات الطبية مثل طب المسالك البولية، العيون، الأسنان والأذن والحنجرة ...... إلخ.

علاوة على ذلك، التحسن الجديد فى تقنيات الهولوجرام وإمكانية الحصول على أدوات تفسير الهولوجرامات الناتجة من الهولوجرام ونجاح تقنية الهولوجرافى فى التصوير خلال الأنسجة، فى طب العيون والأسنان والمسالك البولية والأذن والأنف والحنجرة، تعد بمستقبل باهر كأداة فاعلة فى التطبيقات الطبية. الصور الهولوجرافية ثلاثية الأبعاد للعيون والفحص الهولوجرافى للأسنان وحركة الصدر أثناء التنفس يمكن أن يتم بسهولة ويسر.

ونوجز فيما يلي بعض تطبيقات الهولوجرافى فى المجال الطبى.

### 1- الهولوجرافى فى طب الأذن والحنجرة Holography in Otology

تستخدم تقنيات مقياس التداخل الضوئى الهولوجرافى المضاعف التعريض وأيضا المتوسط الزمني فى دراسة الأجزاء المختلفة للأذن البشرية وأيضا فى دراسة السلوك التذبذبي لأجزاء الأذن الداخلية.

والجدير بالذكر أن طريقة القياس بالتداخل الضوئي الهولوجرافى مزدوج التعريض باستخدام ليزر الياقوت بتحويل Q لتحليل نظم ذبذبة طبلة إذن الإنسان ويتابع عملية التسخين فى التهاب طبلة الأذن والعمليات التي تجرى عليها. بدون فتح تجويف العملية الجراحية.

## 2- الهولوجرافى فى طب العيون Holography in Ophtalmology

الحصول على صور ثلاثية البعد للعين كان واحدا من أهم تطبيقات الهولوجرافى فى مجال طب العيون. أي انفصال شبكي أو أي جسم غريب داخل العين يمكن كشفه بهذه الوسيلة كما يمكن تطبيق هذه التقنية أيضا لقياس التصوير المقطعي للقرنية والتغيرات فى العدسة البلورية، ودراسة الخصائص السطحية للقرنية. الطريقة المتبعة حاليا فى تقدير شكل السطح المركزي تفقد (تخطئ أو تهمل) الجزء المركزي وحوافه الميزة الأعظم لتقنية الهولوجرافى تكمن فى الدقة الفائقة التي تتم بها هذه القياسات. يمكن قياس التمدد المرن للقرنية بمقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى. هذه المعلومات تمثل أهمية حيوية فى مجال جراحة القرنية. تمدد القرنية المستخلصة من عينى الثيران الحديثة تم فحصها كنتيجة لزيادة صغيرة فى ضغط داخل العين باستخدام مقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى مضاعف التعريض. أظهرت الفحوصات الأولى أن كل قرنية ثور لها تمددها الخاص بها. أظهرت الدراسات التى أجريت أن الهولوجرافى لها قدرة عالية فى فحص تغيرات القرنية والعدسة والخصائص السطحية لكل من الرأس العصبي والشبكية.

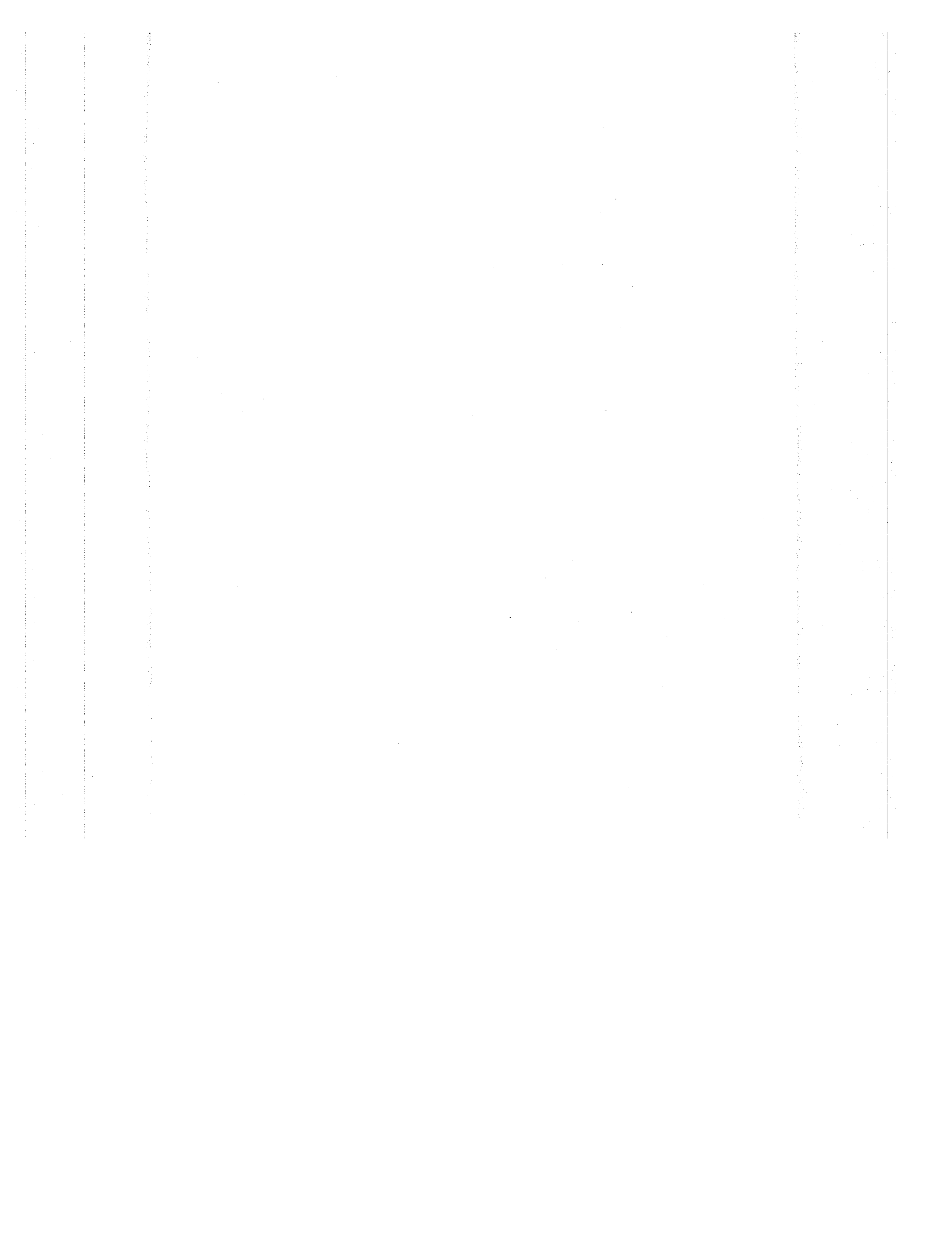
## 3- الهولوجرافى فى طب الأسنان Holography in Dentistry

يستخدم هولوجرافى ليزرات الموجة المستمرة وأيضا ليزرات النبضة فى مجال طب الأسنان. ويمثل الهولوجرام وسيلة سهلة لتخزين بصمات الأسنان. يستخدم الهولوجرافى مضاعف التعريض فى تسجيل حركة الأسنان وتركيباتها النسبية فى مدى القياس من 0.5 إلى 30 ميكرومتر.

تلخيصا لما سبق فإن مقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى يستخدم على نطاق واسع بنجاح منقطع النظير فى دراسة الأجزاء المختلفة فى جسم الإنسان.

**تم بحمد الله**

**ونشكر الله**



## كتب للمؤلف

1- أساسيات وتطبيقات أطياف الأشعة تحت الحمراء .
دار النشر للجامعات (1999) .

2- أساسيات وتطبيقات مطيافية رامان .
دار النشر للجامعات (2002) .

3- أساسيات وتطبيقات مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية .
دار النشر للجامعات (2003) .

4- الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان
(الجزء الأول)
دار النشر للجامعات (2004) .

5- الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان
(الجزء الثاني)
الأشعة الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان
دار النشر للجامعات (2005) .

6 – عالم الكربون المدهش
استخدامات صور الكربون الجديدة
في الطب والصناعة
دار النشر للجامعات
(تحت الطبع)

